

LISEC**France****EDR**• **LISEC PARIS**

Tel : 01 41 91 12 20 – Télécopie : 01 47 24 10 21
91 avenue de la Liberté
92 000 NANTERRE

• **LISEC PACA**

Tel : 04 91 11 74 83 – Télécopie : 04 91 11 77 24
58 rue Paul Langevin
13013 MARSEILLE

• **LISEC ATLANTIQUE**

Tel : 02.28.23.78.27 – Télécopie : 02.28.23.78.90
1 rue du Benelux - BP 63373
44333 NANTES cedex 3

• **LISEC EST**

Tel : 03.90.20.29.34 – Télécopie : 03.90.20.29.62
1, rue de Graffenstaden
67380 LINGOLSHEIM

**Société des Pétroles SHELL****Station-service – PDV 2341**

**5, rond point du figuier
33115 LE PYLA SUR MER**

Evaluation Détaillée des Risques (EDR)

**Client
Ingénierie**

Auteur

Date

Notre référence

SHELL – Messieurs TISSOT et DROUOT

LISEC SAS

Stéphane JACOB

20 / 10 / 2004

LIN – 0056 – 04 – EDR Version 1

LISEC NANTERRE

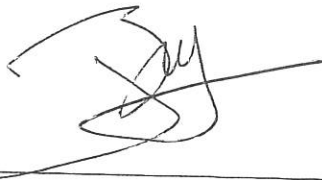
Tel : 01 41 91 12 20 – Télécopie : 01 47 24 10 21

91 avenue de la Liberté

92 000 Nanterre

Société des Pétroles SHELL – Site Le Pyla Sur Mer (33) – PDV 2341
LIN-0056-04- EDR

Version	Date	Document
1	20 Octobre 2004	EDR

<u>Auteur</u> S. JACOB <i>Ingénieurs chargé d'affaires</i>	<u>Vérificateur / approbateur</u> Eric BRANQUET <i>Directeur</i>
	

	Site du Pyla Sur Mer (33) – PDV 2341	EDR	LIN 0056-04-EDR Page 2
---	--------------------------------------	-----	------------------------

Fiche récapitulative de l'EDR du site SHELL PDV 2341 – Le Pyla Sur Mer (33)

I. IDENTIFICATION DU SITE

Nom : Ancienne station service SHELL

Code implant : PDV 2341

Adresse : 5, Rond-Point du Figuier – LE PYLA SUR MER

Département : Gironde (33)

II. DESCRIPTION DU SITE

Etat d'activité : Station fermée et démantelée depuis 2002

Nombre de cuves : initialement 4 cuves en 6 compartiments (1 de SUP, 2 en SP98, 1 en GO et 1 double avec GO et SP95)

Capacité totale de stockage : 55 000 L

III. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

Nature des terrains : sables

Nombre de sondages réalisés : 18

Nappe phréatique recoupée : nappe superficielle interdunaire

Profondeur nappe : 4 m

Nombre de piézomètres posés : 6

Utilisation nappe : aucune utilisation sensible (eau potable ou d'arrosage) car eau saumâtre

Vulnérabilité de l'aquifère : forte car contexte sableux interdunaire

IV. HYPOTHESES DE L'EDR

- Polluants retenus par rapport au risque sanitaire : les BTEX du fait de leur volatilité et les HCT
- Voie de transfert possibles des polluants : par la nappe (primaire) et par l'air (secondaire)
- Voies d'exposition retenues : inhalation de BTEX par remontée gazeuse en provenance de la nappe
ingestion directe de BTEX et de HCT lors des phases de baignade dans l'océan
(nappe en relation avec ce dernier)
- *Concentrations retenues (maximales relevées) :*
 - Benzène = 47,5 µg/l
 - Ethylbenzène = 231 µg/l
 - Toluène = 798 µg/l
 - Xylènes m,p,o = 18200 µg/l
 - HCT = 4900 µg/l
- *Concentrations dans l'océan :*
 - Benzène = 4,75 µg/l
 - Ethylbenzène = 23,1 µg/l
 - Toluène = 79,8 µg/l
 - Xylènes m,p,o = 122,9 µg/l
 - HCT = 490 µg/l

V. RESULTATS ET CONCLUSIONS DE L'EDR

• Résultats

Sur site SHELL et extérieur
Par inhalation ERI max = $1,4 \cdot 10^{-8}$ IR max = $8,6 \cdot 10^{-2}$
Par ingestion

Dans l'océan

ERI = $6,825 \cdot 10^{-8}$ IR = $6,37 \cdot 10^{-2}$

• Conclusions

Les Indices de Risque (IR) et Excès de Risque Individuels calculés sont tous inférieurs aux valeurs de référence : nous en déduisons que les teneurs en BTEX et HCT dans la nappe ne génèrent pas de risque inacceptable pour la santé.



Site du Pyla Sur Mer (33) – PDV 2341

EDR

LIN 0056-04-EDR

Page 3

SOMMAIRE

PREAMBULE.....	5
I. SITUATION ACTUELLE.....	6
II. RAPPEL DU CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL DU SITE.....	7
A. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE	7
B. CONTEXTE GEOLOGIQUE DU SITE.....	7
C. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE DU SITE	8
D. PUIITS AEP, AEI ET AUTRES PROCHES DU SITE.....	9
E. RESEAU DES EAUX DE SURFACE	9
III. RAPPEL DES DONNEES DE TERRAIN	10
A. DIAGNOSTIC INITIAL DE DECEMBRE 2002	10
B. INTERVENTION LISEC FRANCE POUR DE POLLUTION	11
IV. IDENTIFICATION DES DANGERS.....	16
A. LE BENZENE	16
B. L'ETHYLBENZENE	17
C. LE TOLUENE	18
D. LES XYLENES TOTAUX	19
E. LES HYDROCARBURES TOTAUX	20
V. APPROCHE DES ETUDES SANITAIRES – CADRE REGLEMENTAIRE	21
VI. EFFETS TOXIQUES A SEUIL ET SANS SEUIL	22
A. LE BENZENE	22
B. L'ETHYLBENZENE	23
C. LE TOLUENE	23
D. LES XYLENES	23
E. LES HYDROCARBURES.....	24
VII. HYPOTHESES D'EXPOSITION – SCHEMA CONCEPTUEL	25
A. SCHEMA CONCEPTUEL	25
B. VOIES D'EXPOSITION	25
1. Exposition par absorption d'eau.....	25
2. Exposition par voie cutanée.....	25
3. Exposition par inhalation	26
4. Exposition par ingestion	26
VIII. CALCULS ET EVALUATION DES RISQUES.....	27
A. PRESENTATION DU MODELE INFORMATIQUE	27
B. CALCUL DES NIVEAUX DE RISQUE	29
1. Calcul pour l'exposition par inhalation.....	29
2. Calcul pour l'exposition par ingestion	31
IX. CONCLUSIONS.....	33



PREAMBULE

L'objet de la présente étude est de réaliser une évaluation détaillée des risques sanitaires relative au problème de pollution des eaux souterraines et dans une moindre mesure des sols rencontrée sur l'emprise foncière d'une ancienne station service de la société des Pétroles SHELL. Cette station service en grande partie démantelée est située 5 rond-point du Figuier sur le territoire de la commune de Pyla-sur-Mer (33).

Cette étude doit permettre d'estimer les risques pour la santé humaine induits par la présence d'hydrocarbures totaux et surtout de BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes) dans la nappe superficielle sous ce site et dans une moindre mesure dans les sols.

En cas de risque avéré pour les populations, cette étude devra alors conduire à la validation d'une concentration résiduelle dans la nappe n'occasionnant plus de risques pour la population.

Pour une meilleure compréhension de ce document, nous avons mis à la disposition du lecteur un glossaire des termes généralement employés dans ce type d'études, une liste des acronymes utilisés dans le présent document ainsi que leur signification. Ils sont joints en annexe et nous vous invitons à vous y référer.

But de l'étude

Dans le cadre d'une procédure de fermeture du site étudié, la société SHELL, ancienne propriétaire et exploitant de la station service a fait réaliser en juillet 2002 un diagnostic de pollution du site par la société Ate Geoclean.

Ce diagnostic a conclu à l'existence d'une pollution localisée et ponctuelle des sols aux hydrocarbures et aussi de la nappe polluée par des Hydrocarbures et des BTEX (Benzène en l'occurrence) et ce en aval hydraulique du site.

A l'issue du diagnostic, la décision a été prise de dépolluer le site et la nappe et la société SHELL a choisi la société LISEC France comme opérateur dépollution. La société LISEC France s'est alors chargée d'élaborer un système de traitement adapté à la problématique du site puis a installé le chantier et en a assuré son suivi.

Après avoir procédé à l'évacuation de l'ensemble des structures et infrastructures liées à l'exploitation de la station service et après la mise en place du système de traitement de la nappe, la société SHELL, propriétaire de l'ensemble du site souhaite désormais céder ce terrain. Elle doit alors prendre en compte l'ensemble de ces éléments démontrant une pollution et du contexte environnemental local avec un voisinage composé en partie d'habitations et d'Etablissements recevant du Public (ERP).

Dans un souci de respect des contraintes environnementales et afin de vérifier que les teneurs résiduelles en éléments polluants dans la nappe ne généreront pas de risque pour la santé des populations, une EDR (Etude Détaillée des Risques) a été commandée à la société LISEC France.

Pour cela, nous allons étudier la toxicologie des polluants mis en évidence lors des différentes campagnes d'investigations, l'approche EDR retenue pour ce projet, les éléments spécifiques à l'environnement ainsi que les calculs de modélisation qui seront effectués.

	Site du Pyla Sur Mer (33) – PDV 2341	EDR	LIN 0056-04-EDR	Page 5
---	--------------------------------------	-----	-----------------	--------

I. SITUATION ACTUELLE

Le site étudié est implanté sur la commune de Pyla-sur-Mer, dans le département de la Gironde (33), (voir la carte de localisation en annexe).

La station service, fermée avant l'ensemble des investigations se trouve à une altitude moyenne de 5 m NGF (nivellement général de la France) dans une zone urbaine à proximité d'habitations (la plus proche étant située à environ 10 m du site).

Pour mémoire, l'océan Atlantique se trouve à environ 250 m à l'Ouest du site étudié.

La station service SHELL occupait une surface plane recouverte de remblais de façon à permettre une circulation optimale des véhicules.

Il s'agit donc d'une ancienne station service SHELL qui est fermée depuis plus de 2 ans.

D'après les informations et données recueillies, l'ensemble de installations liées à l'activité de stockage et de distribution de carburant était composé ainsi :

- 4 cuves de carburant dont
 - 1 cuve enterrée de 20 m³ contenant de l'essence ordinaire (SUP) et du supercarburant sans plomb 95 (SP95),
 - 1 cuve enterrée de 15 m³ contenant du supercarburant sans plomb 98 (SP98) et du gazole (SP98 et GO),
 - 2 cuves enterrées de 10 m³ contenant du supercarburant sans plomb 98 (SP98),
- 3 îlots de volucompteurs,
- 2 aires de dépotage,
- 1 aire de lavage
- 1 bâtiment abritant une boutique.

Comme nous l'avons signalé précédemment, cette station service n'est plus en activité depuis quelques années et l'ensemble des volucompteurs ainsi que des ouvrages de stockage de carburant a été démonté.

Dès lors, la présente étude aura pour but de vérifier si les teneurs rencontrées ne génèrent pas de risque pour la santé des populations et si tel était le cas, elle permettra de définir les teneurs résiduelles acceptables dans les sols et la nappe pour éviter ces risques.

De ce fait, cela déterminera, si besoin, les seuils de dépollution à atteindre.

	Site du Pyla Sur Mer (33) – PDV 2341	EDR	LIN 0056-04-EDR	Page 6
---	--------------------------------------	-----	-----------------	--------

II. RAPPEL DU CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL DU SITE

A. Contexte géographique

Le site étudié est implanté sur la commune de Pyla-sur-Mer, dans le département de la Gironde (33). (voir la carte de localisation en annexe).

La station service, fermée avant l'ensemble des investigations se trouve à une altitude moyenne de 5 m NGF (Nivellement général de la France) dans une zone urbaine à proximité d'habitations (1 plus proche étant située à environ 10 m du site).

Pour mémoire, l'océan Atlantique se trouve à environ 250 m à l'Ouest du site étudié.

B. Contexte géologique du site

En préambule, il convient de rappeler que la région étudiée correspond à une zone côtière très proche de l'océan Atlantique.

Le domaine terrestre est en général recouvert par des sables éolisés et éoliens, édifiés lors de la période Holocène. L'historique continental de ce secteur débute après le Miocène supérieur avec l'installation progressive durant la période Pliocène d'un marais maritime derrière des cordons sablo-graveleux résultant de l'alluvionnement de puissants émissaires en provenance des Pyrénées et du Massif Central.

L'évolution actuelle est marquée dans tout le bassin d'Arcachon par un ensablement et un envasement permanents qui résultent de processus sédimentaires liés à la configuration de la côte océanique et à ses courants de dérive littorale.

Des modifications anthropiques existent également notamment sur le régime hydrique de l'Eyre, principal émissaire débouchant à la partie interne sud orientale du bassin.

D'après la carte géologique régionale de La Teste (éditions BRGM – n° 849) au 1/50 000 (voir planche en annexe), la station service reposerait sur des formations éoliennes (sables des espaces interdunaires) notés 1 sur la carte.

Lors de la première campagne menée en 2002 par la société ATE Geoclean, 9 sondages ont été réalisés et ont permis de définir une coupe lithologique moyenne des terrains en présence au droit du site. Cette coupe moyenne se décompose de la façon suivante :

- 0 à 2,20 m : sables beiges fins
- 2,20 à 6,00 m : sables fins marrons

Ces données ont été confirmées lors de l'intervention de la société LISEC France en 2003 lors de l'installation de chantier de dépollution de la nappe.

	Site du Pyla Sur Mer (33) – PDV 2341	EDR	LIN 0056-04-EDR	Page 7
---	--------------------------------------	-----	-----------------	--------

C. Contexte hydrogéologique du site

Les formations aquifères remarquables sont les suivantes :

- La nappe profonde du Crétacé supérieur-Eocène inférieur qui est un complexe hydraulique à grande porosité. Cette nappe est exploitée par quelques forages,
- L'ensemble multicouche du Crétacé supérieur à l'Oligocène qui se divise localement en plusieurs nappes superposées mais ayant entre elles des communications verticales et latérales,
- Les nappes de surface du Mio-Pliocène Quaternaire exploitées par des forages disséminés.

Les nappes de surface du Mio-Pliocène Quaternaire semblent les plus susceptibles d'être présentes au droit du site. Ces données ont été confirmées par les relevés piézométriques du niveau de la nappe sous-jacente ainsi que par l'étude de la lithologie locale.

Au niveau du site étudié, il apparaît que les formations sableuses rencontrées en surface et au moins jusqu'à 6 m présentent une perméabilité élevée ; ces formations ne semblent pas à même de ralentir de façon significative la migration verticale des polluants notamment celle des hydrocarbures et des BTEX.

En effet, les sables plus ou moins fins présentent des perméabilités plus ou moins élevées dépendant de leur granulométrie mais qui globalement ne permettent pas de ralentir la migration verticale des polluants étudiés depuis la surface de la station service vers la nappe en profondeur.

Lors de la première intervention sur site et de la pose des piézomètres, la nappe du Mio-Pliocène Quaternaire a été recoupée à une profondeur moyenne de 4,10 m. Préalablement aux prélèvements, des mesures du niveau d'eau avaient été relevées le 28/06/02 sur les 3 piézomètres présents et implantés sur le site. Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Piézomètres	Pz1	Pz2	Pz3
Cotes relatives du piézomètre (m)	+ 100	+ 100,135	+ 100,255
Profondeur de la nappe (m)	- 4,045	- 4,20	- 4,365
Cote relative de la nappe (m)	+ 95,955	+ 95,935	+ 95,89

L'implantation des piézomètres de cette première campagne d'investigations est résumé dans le plan n° 1 joint en annexe.

Ainsi, au droit du site, le sens d'écoulement observé le 06/11/02 a pu être défini en direction du Sud-Ouest, ce qui corrobore les données du contexte hydrogéologique général de la zone d'études car on note ainsi un sens d'écoulement en direction de l'océan Atlantique.

Comme nous l'avons exprimé ci-avant, la nappe rencontrée au droit du site est en étroite relation avec l'océan Atlantique : à ce titre, nous avons pu constater lors des suivis périodiques du chantier de dépollution que le sens d'écoulement de la nappe était parfois perturbé. Cela est sans aucun doute du au phénomène de marée qui joue sur l'écoulement de la nappe : en effet, en période de marée montante, l'écoulement de la nappe ne peut plus se faire correctement et on observe en fait une inversion du sens naturel d'écoulement de la nappe, soit de l'océan vers les terres.

Cette influence explique donc les relevés parfois contradictoires entre 2 levés piézométriques.

	Site du Pyla Sur Mer (33) – PDV 2341	EDR	LIN 0056-04-EDR Page 8
---	--------------------------------------	-----	------------------------

D. Puits AEP, AEI et autres proches du site

Nous avons effectué un recensement des différents ouvrages de captage d'eau les plus proches du site. Compte tenu de la proximité de l'océan Atlantique, nous pouvons constater que les captages recensés ne sont pas en aval hydraulique normal du site. Les données sont extraites de la base de données du BRGM (Infoterre) et recense des structures aussi différentes que des champs captant pour l'alimentation en eau potable, des puits à vocation industrielle, des forages pour l'irrigation agricole.

L'ensemble des captages recensés est récapitulé dans le tableau ci-dessous.

Nom du captage	Commune du prélèvement	Aquifère ou cours d'eau prélevé	Position / Site étudié	Vulnérabilité du captage
Pissens	La Teste	Oligocène	800 m au SE	Non
Cabaret des Pins	La teste	Crétacé	2500 m à l'E	Non
Les Pins – eau de source	Arcachon	Oligocène	3000 m au NE	Non
Abatilles – eau minérale	Arcachon	Eocène	3000 m au NE	Non
Desbiey	Arcachon	Eocène supérieur	4000 m au NE	Non

Il est à noter que les eaux de la nappe sous-jacente au site SHELL étudié sont légèrement saumâtres (odeur caractéristique relevée lors de l'ensemble des prélèvements d'eau souterraines) : à ce titre, nous n'avons pas relevé dans l'entourage du site (au niveau des pavillons des particuliers) de puits susceptibles d'être utilisés pour l'eau d'arrosage de pelouse et/ou de jardins potagers sous peine de voir les végétaux dépérir.

E. Réseau des eaux de surface

De part la proximité de l'océan Atlantique et de la topographie générale du secteur, le réseau hydrographique de surface est très peu développé et marqué par la présence de quelques rus plus ou moins pérennes mais sans une grande amplitude.



III. RAPPEL DES DONNEES DE TERRAIN

A. Diagnostic initial de Décembre 2002

En Décembre 2002, un premier diagnostic de pollution de site a été réalisé par la société Ate Geoclean. Dans le cadre de ce diagnostic, 9 sondages ont été réalisés dont 3 équipés en piézomètres. Un plan fourni en annexe (plan n° 1) permet de localiser les implantations de ces sondages tandis que le tableau ci-dessous récapitule la stratégie d'investigation.

Sondage	Installations à reconnaître	Profondeur (en m)
PZ1	Cuve de 20 m ³ de SUP/SP95	6
PZ2	Cuve de 10 m ³ de SP98	6
PZ3	Décanteur	6
S4	Aire de distribution	3
S5	Aire de distribution	3
S6	Aire de distribution	4
S7	Cuve de 15 m ³ de SP98/GO	4
S8	Aire de dépotage	3
S9	Cuve de 10 m ³ de SP98	5

Il convient de rappeler que la présence d'eaux souterraines a été mise en évidence lors des sondages à une profondeur au droit du site comprise entre 4,0 et 4,3 m au maximum. A ce titre, afin d'être le plus représentatif possible de la qualité des sols, les échantillons ont été prélevés au-dessus de la zone saturée.

Dans un premier temps, les concentrations en hydrocarbures gazeux dans l'air du sol (en ppmV) ont été relevées : les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Profondeur (en m)	PZ1	PZ2	PZ3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
3	0	0	0	0	< 10	100	50	0	< 10

Les concentrations en Hydrocarbures totaux dans les sols (en mg/kg) ont été les suivantes :

Profondeur (en m)	PZ1	PZ2	PZ3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	VDSS
3				< 50	< 50	70		< 50		2500
4	< 50	< 50	< 50			280	15000		< 50	

Les concentrations dans la nappe en hydrocarbures et BTEX étaient les suivantes (en µg/l):

Piézomètres	VCI usage sensible	PZ1	PZ2	PZ3
Hydrocarbures totaux	10	210	10	4200
Benzène	1	< 1	< 1	7,6
Toluène	700	< 1	< 1	2,7
Ethylbenzène	300	< 1	< 1	5
Xylènes m,p,o	500	< 1	< 1	13,1

Nous pouvons noter que les teneurs dans les sols en HCT étaient supérieures aux VDSS en 1 seul point. Concernant les teneurs dans les eaux, seules les teneurs en HCT dépassaient les VCI Usage Sensible sur 2 piézomètres (Pz1 et Pz3) ainsi que celle en Benzène sur un seul piézomètre (Pz3).

	Site du Pyla Sur Mer (33) – PDV 2341	EDR	LIN 0056-04-EDR Page 10
---	--------------------------------------	-----	-------------------------

B. Intervention LISEC France pour dépollution

Suite au constat de pollution décrit dans le rapport de diagnostic réalisé par la société ATE Geoclean en Novembre et décembre 2002, la société LISEC France a été mandatée par SHELL pour procéder à la dépollution du site et plus particulièrement de la nappe.

En se basant sur les conclusions du rapport ATE Geoclean, LISEC France a opté pour un traitement par stripping des eaux de la nappe souterraine. Ce traitement est particulièrement efficace dans les conditions que l'on retrouve au droit du site, c'est-à-dire **une pollution de type essence (volatiles) dans un sable des espaces inter dunaires.**

Pour ce faire, 6 piézomètres ont été implantés en diamètre 103/114 mm à des profondeurs comprises entre 8 et 15 m mètres, répartis comme suit : 2 puits à 8m, 2 puits à 10m et 2 puits à 15m, et ce, afin de permettre un rabattement de la nappe et un pompage pour le traitement. Parallèlement, 4 puits en diamètre 103/114 mm à 8 mètres de profondeur ont été équipés dans la nappe, afin de réaliser une injection et un lessivage des sols.

L'installation de traitement à proprement parler a été installée dans un conteneur et s'est composé des éléments suivants :

- 1 - Les éléments de prétraitements :
 - Un séparateur à hydrocarbures.
 - Un bac tampon équipé d'une pompe vide cave.
 - Une VMC pour évacuer la chaleur engendrée par les moteurs
- 2 - Un stripper à tiroir d'une capacité de traitement de 30 m³/h
- 3 - Une soufflante d'un débit de 300 m³/h.
- 4 - Un filtre à charbon actif.
- 5 - Une pompe d'extraction vers le réseau d'injection.
- 6 - Un coffret électrique permettant l'asservissement du process



photo 1 : conteneur (stripper et soufflante)



photo 2 : réseau de pompage



Photo 3 : réseau d'injection



Le charbon actif souillé est conditionné en big-bag et acheminé vers un centre de traitement agréé. Les produits issus du séparateur à hydrocarbures (hydrocarbures) sont pompés et détruits par incinération dans un centre de destruction. Chaque enlèvement fait l'objet d'un bordereau de suivi de déchets industriels (BSDI).

L'injection se fait par un réseau d'un diamètre 50 en PVC dans 4 puits de 8 m. Chaque canalisation d'injection est équipée d'une vanne à bille afin d'obtenir une répartition uniforme des injections et permettre la formation d'une ligne de point haut dans la nappe. Les travaux étant réalisés dans une zone urbanisée de type pavillonnaire et très touristique, les mesures préventives suivantes ont été prises :

- 1- Clôture du chantier par un grillage approprié avec signalisation chantier interdit au public et cadenassé.
- 2- Nuisances olfactives : Les transferts de pollution vers l'atmosphère sont évités par filtration de l'air sur CA

Lors de la mise en route du pompage, nous avons pu constater qu'une grande quantité de sable se déposait dans le séparateur et colmatait l'ensemble du réseau. Nous avons donc vidangé le séparateur et modifié l'arrivée dans le conteneur.

Suite au colmatage des différentes lignes, du séparateur et du stripper, par du sable, LISEC France a procédé à la mise en place d'une cuve de décantation pour stopper le sable et éviter son entrée dans l'unité de traitement. Une pompe de relevage vers le séparateur a également été installée dans ce bac tampon de manière à augmenter le marnage.

De plus, 3 nouveaux puits d'injection ont été implantés du fait du colmatage aussi rapide des puits déjà en place.

Suite à ces améliorations, le système de traitement de la nappe a pu fonctionner durablement moyennant un suivi régulier des structures.

Afin de vérifier le bon fonctionnement de l'installation de traitement de la nappe, un suivi de la qualité des eaux a été mis en place au niveau des 6 piézomètres de rabattement et de pompage des eaux de nappe.

Les tableaux et graphes ci-dessous nous permettent d'apprécier l'évolution et l'efficacité du traitement. Il convient de rappeler que dans une première approche, les seuils de dépollution à atteindre avaient été définis comme les valeurs VCI Usage Sensible (voir rapport ATE Geoclean n° A2 02 004.0 – édition 1)

• Benzène (en µg/l)

N° puits	VCI Usage sensible	PZ1	PZ2	PZ3	PZ4	PZ5	PZ6
14/05/2003	1	19	2.1	240	410	<0.2	<0.2
20/06/2003		1	1.4	1200	140	20	n.d.
30/07/2003		76	190	140	120	100	0.9
21/08/2003		65	X	84	110	130	1.6
23/09/2003		74	200	72	80	40	0.4
20/10/2003		53	3.1	56	160	13	n.d.
09/12/2003		80	240	74	97	0.5	n.d.
13/01/2004		110	110	93	200	14	n.d.
17/02/2004		30.7	35.7	34.5	92.8	4.61	n.d.
23/03/2004		68.7	35.0	13.8	83.9	2.8	1.6
03/05/2004		1.1	4.2	11.2	54.1	3	5.4
27/05/2004		1.2	4.8	6.3	42.4	2	1.5
24/06/2004		2.2	4.6	47.5	16.1	0.9	12.3



- HCT (en mg/l)

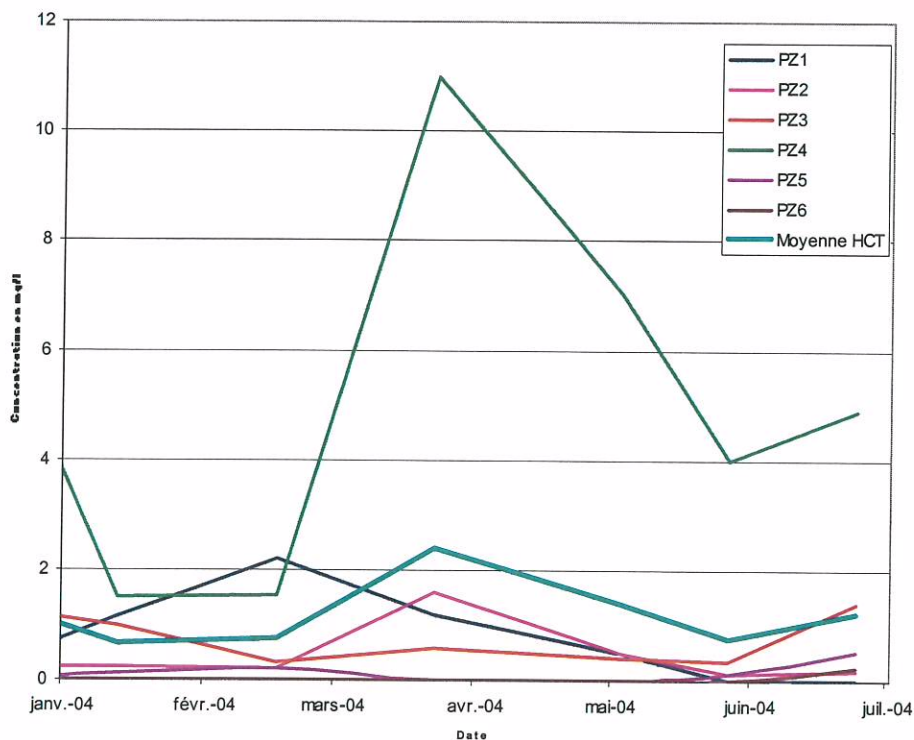
N° puits	VCI Usage sensible	PZ1	PZ2	PZ3	PZ4	PZ5	PZ6
14/05/2003	0.01	0.25	0.49	1.6	6.4	<0.07	0.091
20/06/2003		0.37	0.78	5.6	18	2.6	0.24
30/07/2003		1.6	2.6	4.0	0.48	6.2	0.25
21/08/2003		0.42	X	0.43	5.5	5.1	0.14
23/09/2003		X	X	1.7	4.2	1.4	n.d.
20/10/2003		0.65	X	0.32	1.2	0.49	0.10
09/12/2003		n.d.	0.23	1.4	8.0	n.d.	n.d.
13/01/2004		1.17	X	0.98	1.5	0.129	n.d.
17/02/2004		2.2	0.19	0.33	1.5	0.2	n.d.
23/03/2004		1.2	1.6	0.58	11	n.d.	
27/05/2004		n.d.	0.11	0.36	4	0.12	n.d.
24/06/2004		X	0.16	1.4	4.9	0.53	0.22

Légende :



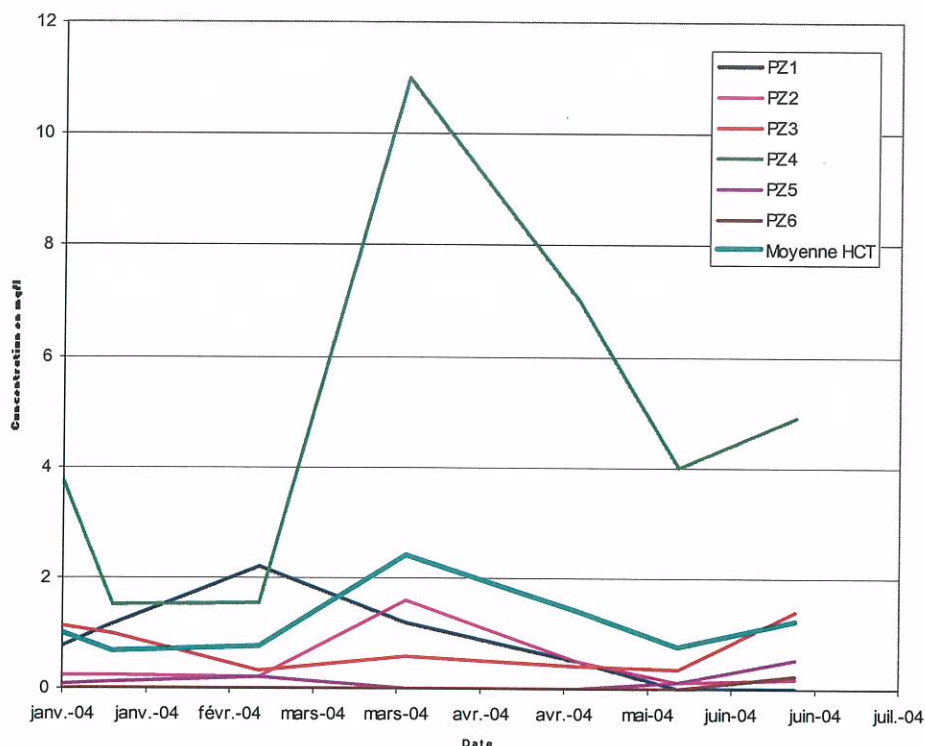
Valeur supérieure à la VCI usage sensible
Valeur inférieure à la VCI usage sensible

Les graphiques ci-dessous nous permettent de mieux visualiser l'évolution des teneurs en polluants de la nappe.



Graphique 1 : Evolution de la concentration en benzène dans les eaux depuis Janvier 2004.





Graphique 2 : Evolution de la concentration en HCT dans les eaux depuis Janvier 2004.

Commentaires :

La moyenne des BTEX dissous dans l'eau est de 727.93 µg/l le 24/06/2004. Soit une diminution de 36% par rapport aux résultats du mois de mai.

Cependant on peut observer un accroissement des concentrations en Xylènes totaux dans les puits Pz3 et Pz6 résultant de l'augmentation du pompage dans ces puits.

La décroissance de concentration en benzène est continue sur quasiment l'ensemble des piézomètres hormis pour Pz3 et Pz6 qui notent une concentration supérieure aux mois précédents. Leurs concentrations en benzène sont comprises entre 47,5 et 12,1 µg/l.

La concentration en HCT est également bien plus élevée en Pz4 que pour les autres puits. Elle est de 4,9 mg/l pour ce dernier alors qu'elle ne dépasse jamais 1,4 mg/l pour tous les autres.



IV. IDENTIFICATION DES DANGERS

Les polluants à prendre en considération ont été retenus sur la base des résultats analytiques disponibles, notamment pour ce qui concerne les valeurs en BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes totaux) et dans une moindre mesure les HCT (Hydrocarbures totaux).

A. Le Benzène

Utilisation du Benzène :

- principalement utilisé par l'industrie pétrochimique,
- production d'éthylbenzène servant à la synthèse du styrène destiné à la fabrication de matières plastiques et d'élastomères,
- production du cumène destiné à la fabrication du phénol servant à produire des résines phénoliques et du nylon,
- production de l'acétone employée comme solvant ou utilisée dans l'industrie pharmaceutique,
- production de l'anhydride maléique, des chlorobenzènes.

Comme sous-produit du pétrole, il entre naturellement dans la composition de l'essence automobile, son rôle étant particulièrement important dans l'essence sans plomb à cause de ses caractéristiques antidétonation.

Caractéristiques physico-chimiques :

Dans le sol, le benzène est mobile. De par sa tension de vapeur et sa solubilité élevées, le benzène se volatilise à partir de la surface du sol, est entraîné vers les eaux superficielles par ruissellement et vers les eaux souterraines par lixiviation.

Dans l'atmosphère, le benzène existe principalement sous forme gazeuse. Il se volatilise rapidement à partir des eaux superficielles. Le benzène étant relativement soluble, une partie du benzène présent dans l'atmosphère est déposé sur le sol ou dans les eaux par précipitation.

Masse moléculaire : 78,11 g.mol⁻¹
 Densité : 0,879 à 20 °C
 Solubilité : 1830 mg/l à 25 °C
 Point d'ébullition : 80,1 °C
 Pression de vapeur : 10032 Pa à 20 °C

Toxicité du benzène :

La voie d'exposition majoritaire pour le benzène est l'**inhalation**. 50 % de la quantité inhalée sont absorbés. Toutefois, le benzène est facilement absorbé **par voie orale** tandis que la voie cutanée demeure une source secondaire très mineure d'exposition.

➤ **Intoxication aigue :**

Chez l'homme, les effets du benzène sur la santé sont principalement étudiés lors d'expositions par inhalation. En cas d'intoxication sévère ou prolongée aux vapeurs de benzène, une narcose suivie d'états convulsionnels et la mort peuvent survenir en quelques heures. L'exposition à 2000 ppm (6498 mg/m³) pendant 5 à 10 minutes est fatale. Il est à noter qu'il n'y a pas d'effets hépatiques chez les salariés exposés. Lors d'intoxication gazeuse légère, on peut observer une excitation nerveuse suivie d'une dépression, de troubles de la parole, de céphalées de vertiges, d'insomnies et de nausées. Enfin, en cas d'exposition à des vapeurs de benzène, on peut observer par voie dermale des brûlures au second degré de la face, du tronc, des membres et des hémorragies ainsi que des irritations oculaires, nasales et pulmonaires.



➤ Intoxication chronique :

L'intoxication chronique par le benzène a été exclusivement étudiée par rapport à la voie d'inhalation. Les nombreuses études menées sur l'homme et notamment au poste de travail ont montré de nombreux symptômes dont la liste est donnée ci-après :

- troubles hématologiques sévères tels que des pancytopémies ou des anémies aplasiques,
- altération de l'immunité cellulaire et humorale,
- effets cardio-vasculaires tels que des fibrillations ventriculaires,
- effets neurologiques avec atrophie globale des extrémités basses et neuropathie distale des extrémités hautes ainsi que des maux de têtes répétitifs, une fatigabilité exacerbée, des altérations du sommeil et des pertes de mémoire.

➤ Effets cancérogènes :

Il est reconnu que le benzène est une substance cancérogène notamment par l'apparition de leucémies non lymphatiques par inhalation. La classification I.A.R.C. pour le benzène est le groupe 1 et catégorie A pour l'US-EPA.

Ecotoxicité du benzène :

Espèces	Exposition	"End point"	Valeur	Unité
Daphnia magna	48 h	CL50	10	mg.l ⁻¹
Selenastrum	72 h	CE 50	29	mg.l ⁻¹
Artemia salina	48 h	CE50	20	mg.l ⁻¹
Morone saxatilis	96 h	CL 50	9,6	mg.l ⁻¹

B. L'Éthylbenzène

Utilisation de l'éthylbenzène :

L'éthylbenzène est principalement utilisé pour la fabrication du styrène employé pour produire du polystyrène, des matières plastiques, des résines et du caoutchouc synthétique. Il est utilisé comme solvant pour les peintures et les laques. Il sert d'autre part d'intermédiaire chimique pour la fabrication du diéthylbenzène, de l'acétophénone, de l'éthyl anthraquinone, de l'oxyde de propylène et de diverses autres substances.

Il est à noter qu'il s'agit d'un des composants de l'essence sans plomb.

Caractéristiques physico-chimiques de l'éthylbenzène :

Masse moléculaire : 106,16 g.mol⁻¹
 Densité : 0,867 à 20 °C (état liquide) – 3,66 par rapport à l'air (état vapeur)
 Point d'ébullition : 136,2 °C
 Pression de vapeur : 944 Pa à 20 °C
 Solubilité dans l'eau : 152 mg/l à 20 °C

Toxicité de l'éthylbenzène :

Chez l'homme, l'éthylbenzène sous forme liquide est principalement absorbé par voie pulmonaire et cutanée. Il est très mal absorbé par voie cutanée lorsqu'il se trouve sous forme de vapeur.

	Site du Pyla Sur Mer (33) – PDV 2341	EDR	LIN 0056-04-EDR Page 17
---	--------------------------------------	-----	-------------------------

➤ Intoxication aigue :

L'intoxication aigue est essentiellement due à une exposition importante à des vapeurs d'éthylbenzène qui vont être absorbées par inhalation via les poumons. Les principaux effets se traduisent par des irritations oculaires et de la gorge, une constriction de la poitrine et des troubles neurologiques. Il n'y a pas de données concernant l'exposition aigue par voie orale chez l'homme.

➤ Intoxication chronique :

Il existe deux études de référence chez l'homme et notamment au poste de travail sur l'exposition chronique par voie pulmonaire à l'éthylbenzène. Néanmoins, ces 2 études donnent des résultats contradictoires sur les effets systémiques induits du fait notamment pour une étude d'une exposition complexe à cette substance mélangée à d'autres de même type sans donnée sur les concentrations respectives.

L'étude de Bardodej et Cirek, 1988 ne montre aucun effet néfaste avéré de l'exposition à l'éthylbenzène sur le système hématologique. De même, aucune lésion du foie et aucun dysfonctionnement du système hépatique n'ont été mis en évidence.

Aucune donnée concernant les effets systémiques induits par une exposition par voie orale ou cutanée n'est disponible chez l'homme et les études sur l'animal sont trop ponctuelles pour être extrapolées sur l'homme

➤ Effets cancérogènes :

Il n'est pas reconnu d'effets cancérogènes liés à l'absorption de l'éthylbenzène. La classification I.A.R.C. pour l'éthylbenzène est 2B (pourrait être cancérogène pour l'homme) et en classe D (non classifiable quant à sa cancérogénicité pour l'homme) pour l'US-EPA.

C. Le Toluène

Utilisation du toluène :

Le toluène est utilisé en mélange avec le benzène et le xylène pour améliorer l'indice d'octane de l'essence automobile. Il est également utilisé isolément pour la fabrication du benzène comme intermédiaire de synthèse, comme solvant dans les peintures, les adhésifs, les produits pharmaceutiques, les encres et comme additif dans les produits cosmétiques.

Il est présent dans les huiles lourdes et dans les condensats recueillis lors de la production de gaz naturel. L'industrie pétrochimique le synthétise avec d'autres substances par reformage catalytique, vapocraquage et désalkylation. Il peut être obtenu au cours de la fabrication de produits chimiques dérivés du charbon.

Caractéristiques physico-chimiques du toluène :

Le toluène se volatilise rapidement à partir de l'eau ou du sol. Il est moyennement mobile à mobile dans les sols et peut ainsi atteindre les eaux souterraines. Il présente une faible solubilité dans l'eau.

Masse moléculaire : 92,14 g.mol⁻¹

Densité : 0,8669 sous forme liquide – 3,2 à 20 °C sous forme de vapeur par rapport à l'air

Point d'ébullition : 110,6 °C

Pression de vapeur : 2922 Pa à 20 °C

Solubilité dans l'eau : 515 mg/l à 20 °C



Toxicité du toluène :

➤ Intoxication aigue :

Par inhalation, des expositions comprises entre 281 et 562 mg/m³ induisent des maux de tête, des vertiges, des irritations et des somnolences. Ces symptômes sont généralement réversibles dans les heures qui suivent l'arrêt de l'exposition.

➤ Intoxication chronique :

La principale voie d'absorption du toluène est l'inhalation, l'ingestion restant un phénomène accidentel ou volontaire. Par inhalation, l'absorption est rapide : 10 à 15 minutes après l'exposition. Plusieurs symptômes ont été relevés tels que :

- perte d'audition dans les hautes fréquences
- syndromes psycho-organiques tels qu'une neurasthénie et une diminution de la réponse aux tests psycho-moteurs.
- effets neurologiques tels que tremblements, ataxie, troubles de la mémoire et atrophie du cervelet.

➤ Effets cancérogènes :

D'après les 3 bases de données consultées (union Européenne, CIRC-IARC, US-EPA), le toluène n'est pas considéré comme étant une substance cancérogène. Ainsi, il ne fait pas l'objet de classification pour l'Union Européenne, est en groupe 3 selon la classification CIRC-IARC et en classe D pour l'US-EPA.

D. Les Xylènes totaux

Utilisation du xylène :

Le xylène est un solvant très utilisé dans la fabrication des peintures, des vernis, des colles, des encres d'imprimerie, des insecticides, des matières colorantes, dans l'industrie du caoutchouc et des produits pharmaceutiques.

Il est également employé dans les laboratoires d'histologie pour dissoudre la paraffine lors de la préparation des tissus à l'examen microscopique. En microscopie, il est utilisé pour les examens en immersion et comme agent nettoyant.

Le xylène constitue la matière première pour la fabrication de l'acide benzoïque.

Caractéristiques physico-chimiques du xylène :

Le pétrole et les feux de forêts constituent les sources naturelles d'exposition environnementale de xylène. L'exposition atmosphérique résulte principalement du trafic automobile, des stations-service, des raffineries et des industries utilisant le xylène comme solvant ou comme intermédiaire chimique. Les pulvérisations agricoles d'insecticides et de pesticides, les aérosols domestiques, la combustion du bois et la fumée de tabac sont également responsables de la présence de xylène dans l'atmosphère.

Masse moléculaire : 106,16 g.mol⁻¹

Densité : 0,880 sous forme liquide – 3,66 à 20 °C sous forme de vapeur par rapport à l'air

Point d'ébullition : 138,3 °C

Pression de vapeur : 663 Pa à 20 °C

Solubilité dans l'eau : 175 mg/l à 20 °C



Toxicité du xylène :

➤ Intoxication aigue :

Chez l'homme, l'exposition par voie respiratoire à un mélange de xylènes peut induire la mort et ce à des concentrations de l'ordre de 43500 mg/m^3 . A des teneurs plus faibles et toujours par inhalation, les effets peuvent se caractériser par des irritations du nez et de la gorge, par des pertes de mémoire et des troubles de l'équilibre ainsi que des dérèglements du rythme cardiaque (tachycardie). Par ingestion aigue, les effets sont graves car ils aboutissent à un coma profond voire à la mort. Enfin, en cas de contact cutané avec du xylène liquide ou en vapeur saturée, les effets se caractérisent par des irritations des yeux et de la peau ainsi que par des phénomènes de dessèchement dermique, desquamation et vasodilatation.

➤ Intoxication chronique :

La principale voie d'absorption du xylène est l'inhalation, l'ingestion restant un phénomène accidentel ou volontaire. L'inhalation de xylène est très souvent associée à d'autres substances similaires (benzène, toluène...), ce qui n'a pas permis d'individualiser les effets spécifiques du xylène. Toutefois, les différentes études ont pu relever des effets sur la respiration avec une certaine altération des fonctions pulmonaires. Des palpitations cardiaques, des douleurs thoraciques ainsi que des électrocardiogrammes anormaux ont été constatés après des expositions chroniques au xylène.

➤ Effets cancérogènes :

D'après les 3 bases de données consultées (union Européenne, CIRC-IARC, US-EPA), le xylène n'est pas considéré comme étant une substance cancérogène. Ainsi, il ne fait pas l'objet de classification pour l'Union Européenne, est en groupe 3 selon la classification CIRC-IARC et en classe D pour l'US-EPA.

E. Les hydrocarbures totaux

Nous étudierons la toxicité des hydrocarbures au niveau du site : néanmoins, compte tenu des raisons évoquées ci-dessous, cet élément ne devrait pas être un facteur déterminant de risque pour la santé.

- La nappe repérée au droit du site n'est pas utilisée officiellement par pompage pour assurer des besoins d'alimentation en eau potable ni industrielle, ni pour l'irrigation de cultures ou de potagers. Après vérification, il s'avère que cette utilisation n'est ni possible ni envisagée dans le voisinage car les eaux de la nappe étudiée sont saumâtres et à ce titre, ne peuvent servir comme eau d'arrosage des pelouses et potagers sous peine de faire dépérir les végétaux, ni bien sur comme eau de consommation ou de lavage.
- Enfin, la bibliographie consultée nous a permis de déterminer les caractéristiques de toxicité du gas-oil/fuel. A l'analyse des données disponibles, il a été établi que la seule voie d'exposition à risque des hommes au gas-oil et à ses résidus était l'ingestion sous forme pure ou diluée de ces substances. Une valeur de référence a été établie : elle est de $0,008 \text{ mg/kg/jour}$ avec un facteur d'incertitude de 10 000 et correspond bien à une exposition par ingestion.
- En aucun cas, les voies d'exposition par inhalation ou par contact cutanée n'ont été étudiées en et il paraît difficile d'extrapoler une valeur d'exposition par inhalation à partir de la valeur par ingestion compte tenu de l'importance du facteur d'incertitude sur la valeur disponible.

Aussi, pour toutes ces raisons, nous avons donc choisi de ne prendre en compte et d'étudier le risque sanitaire généré par la pollution de nappe aux hydrocarbures totaux que par la voie d'ingestion directe ou indirecte par la baignade dans la mer via la relation nappe – océan Atlantique.



V. APPROCHE DES ETUDES SANITAIRES – CADRE REGLEMENTAIRE

Le guide édité par le ministère de l'environnement présente les deux possibilités dans l'évaluation du rapport dose-effet :

- l'une déterministe avec un effet dit à seuil, ou toxicologique
- l'autre dite stochastique où l'on considère qu'il n'y a pas de niveau d'exposition sans risque.

Pour les BTEX comme pour les HCT, les études épidémiologiques réalisées sur les travailleurs et croisées par les études sur l'animal, ont permis d'acquérir des données sur les doses journalières acceptables ou tolérables pour ces composés. Bien entendu, ces valeurs sont toujours sujettes à des éléments de variabilité tels que les sensibilités inter-individuelles ou inter-espèces.

La démarche statistique aléatoire est elle basée sur la présomption de probabilité d'un risque accru de développer un effet lorsqu'un individu est exposé à une dose de concentration toxique. Les données expérimentales issues des tests sur l'animal à des niveaux d'exposition élevés permettent de saisir des éléments de réponse entre la dose et la probabilité du risque. Pour les faibles doses, des modèles mathématiques en interpolation ont été élaborés afin d'acquérir des éléments d'appréciation.

- Pour la démarche dite de l'évaluation du risque pour les effets à seuils, la possibilité de survenue d'un effet toxique chez la cible s'exprime par un indice de risque donné par le rapport :

$$IR = DJE / DJT$$

Avec DJE représentant la dose journalière d'exposition et DJT la dose journalière tolérable.

Si cet indice est inférieur à 1, l'effet toxique apparaît peu probable. Lorsque la cible est exposée à plusieurs composés, la possibilité d'apparition d'un effet toxique sera **fonction de la somme des indices de risque liés aux différentes voies d'administration du polluant et aux différentes substances à effet de seuil.**

- Pour la démarche d'évaluation du risque pour les effets sans seuil, un excès de risque individuel (ERI) est calculé en multipliant la dose journalière d'exposition (DJE) par l'excès de risque unitaire par voie orale ou, la concentration inhalée (CI) par l'excès de risque unitaire par inhalation (ERU)_i.

Dans le cas d'une exposition par inhalation, la formule retenue est la suivante :

$$ERI = CI \times ERU_i$$

Il est important de signaler que dans ce cas aussi, les corrections suivantes devront être apportées :

- la somme des risques liés à chacune des voies d'exposition doit être considérée
- la somme des risques liés à chacune des substances cancérogènes
- la somme des risques liés aux différentes durées d'exposition

D'après le guide méthodologique, l'excès de risque individuel (ERI) doit être inférieur à 10^{-5} pour que le risque sanitaire soit considéré comme acceptable. Néanmoins, en fonction de contextes spécifiques dits ultrasensibles soit de part les cibles définies soit à cause d'un polluant très dangereux et/ou toxique, l'administration peut être amenée à préconiser un seuil d'acceptabilité inférieur (10^{-6} par exemple, rarement moins).



VI. EFFETS TOXIQUES A SEUIL ET SANS SEUIL

Ils correspondent à des effets toxiques dont la gravité est proportionnelle à la relation dose/effets (hors effets génotoxiques, mutagènes ou cancérogènes). Il s'agit d'une approche retenant un seuil en dessous duquel le danger n'existe pas, les effets survenant lorsque les capacités de détoxification de l'organisme sont atteintes.

Dans le cas présent et comme nous l'expliquerons un peu plus en détail dans le chapitre VII "Schéma conceptuel", nous privilégierons la voie d'exposition par inhalation de gaz et/vapeur de BTEX en provenance de la nappe impactée. Compte tenu du contexte local, ces inhalations ne seront modélisées qu'à l'intérieur du site dans la mesure où on ne recense aucun bâtiment en aval hydraulique (direction de la mer) de la zone suspectée polluée de la nappe.

Nous étudierons aussi la voie d'exposition par ingestion (directes et indirectes) à l'extérieur du site notamment au niveau de la zone de baignade car l'océan est en relation avec la nappe sous-jacente au site.

Pour information, nous n'avons pas pris comme scénario la voie d'exposition par contact cutané lors des phases de baignade : en effet, aucun des éléments consultés et bibliographies se rapportant aux polluants étudiés (BTEX et HCT) ne fait référence à un risque toxicologique par cette voie d'exposition.

Enfin, nous nous sommes attachés à prendre les VTR ayant les facteurs d'incertitude les moins élevés et ce dans chaque base de donnée consultée, à savoir l'INERIS, l'US-EPA et l'ATSDR. Les fiches toxicologiques des BTEX étudiés sont données en annexe afin que le lecteur puisse s'y référer en toute objectivité.

N.B. : compte tenu des campagnes d'analyses qui ont été réalisées, nous prendrons comme concentration de base les concentrations en BTEX maximales rencontrées de la dernière campagne d'analyses 2004.

A. Le Benzène

Nous avons vu précédemment que le benzène était une substance cancérogène. Elle est considérée comme une substance sans seuil, c'est-à-dire présentant un excès de risque sanitaire (ERS) ou unitaire (ERU). Néanmoins, le risque d'intoxication chronique est aussi existant, ce qui va nous conduire à prendre en compte ce type de risque pour cette substance.

Effets cancérogènes(sans seuil) :

Dans le cas d'une exposition par inhalation, l'US-EPA donne un ERU_i (ou Excès de Risque Unitaire par Inhalation) de $2,2 \text{ à } 7,8 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ tandis que l'OMS donne une valeur de $6 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$. Cette différence s'explique par le fait que les valeurs de l'US-EPA ont été estimées à partir d'études épidémiologiques portant sur la survenue de leucémies chez l'homme tandis que la valeur OMS est une valeur de référence prise par moyenne. Nous avons retenu la valeur OMS de $6 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ reconnue au niveau mondial et présentant un facteur d'incertitude minime.

Dans le cas d'une exposition par ingestion, l'US-EPA donne un ERU_o (ou Excès de Risque Unitaire par voie orale) compris entre $1,5 \text{ et } 5,5 \cdot 10^{-2} (\text{mg}/\text{kg}/\text{j})^{-1}$. Dans un souci de prise en compte majeure du risque, nous prendrons comme valeur référence la valeur la plus faible, à savoir $1,5 \cdot 10^{-2} (\text{mg}/\text{kg}/\text{j})^{-1}$ qui est donnée sans facteur de risque.

Effets avec seuil :

Le benzène présente aussi une toxicité liée à un seuil d'absorption par inhalation. Cette valeur est extrapolée d'une valeur de toxicité subchronique par inhalation : cette valeur de référence est de $6 \cdot 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$ et un facteur d'incertitude de 10 a été donné à cause de l'extrapolation d'une valeur de toxicité subchronique. Par ingestion, la valeur est de $4 \cdot 10^{-3} \text{ mg}/\text{kg}/\text{j}$.

Les données sont issues de plusieurs études épidémiologiques réalisées aux Etats-Unis. Elles ont été menées sur des sujets adultes au travail. (cf. la fiche toxicologique du benzène en annexe – fiche INERIS).

	Site du Pyla Sur Mer (33) – PDV 2341	EDR	LIN 0056-04-EDR Page 22
---	--------------------------------------	-----	-------------------------

B. L'Ethylbenzène

Nous avons vu que les données toxicologiques relatives à l'éthylbenzène ainsi que les études épidémiologiques menées par différents instituts tant sur l'homme que sur les animaux montraient que cette substance n'était pas cancérogène.

Il s'agit donc d'une substance dite à seuil : la consultation de la base de données de l'ATSDR a pu nous fournir des informations chiffrées relatives au MRL par inhalation et au RfD par ingestion. Les chiffres annoncés sont de 4,35 mg/m³, soit 1 ppm par inhalation et 10⁻¹ mg/kg/j par ingestion.

Ces données sont extrapolées de la valeur de toxicité aiguë réalisée par essais sur les rats femelles. Dès lors, on obtient des facteurs d'incertitude de 100 et 300 qui se décomposent de la façon suivante :

- inhalation : un facteur 10 pour l'extrapolation animal-homme et un facteur 10 pour la variabilité au sein de la population humaine.
- ingestion : un facteur 10 pour la variabilité au sein de la population humaine, un facteur 3 pour l'étude réalisée sur le rat et un facteur 10 pour le manque d'études chroniques.

Les facteurs d'incertitudes sont des données de pondération permettant d'obtenir une valeur toxicologique de référence à partir de résultats expérimentaux. Ainsi, pour définir la VTR, on divise la valeur expérimentale par le facteur d'incertitude déterminé par rapport à la bibliographie et l'expérience des auteurs.

Ces données sont celles que nous retiendrons car elles présentent les facteurs d'incertitude les plus faibles.
(cf. la fiche toxicologique de l'éthylbenzène en annexe – fiche INERIS)

C. Le Toluène

La bibliographie ainsi que les différentes bases de données toxicologiques consultées (INERIS, US-EPA, ATSDR) définissent le toluène comme une substance non cancérogène pour l'homme.

Il s'agit donc d'une substance dite à seuil : la consultation de la base de données de l'ATSDR a pu nous fournir des informations chiffrées relatives aux MRL par inhalation et par ingestion. Les chiffres annoncés sont de 3,83 mg/m³, soit 1 ppm pour l'inhalation et 0,02 mg/kg/j pour l'ingestion.

Ces données sont établies dans le cadre d'expositions chroniques d'employés au toluène. Les résultats ont montré une diminution de la réponse des salariés exposés à une batterie de tests. Des facteurs d'incertitude de 30 et 300 ont été appliqués et se décomposent de la façon suivante :

- inhalation : un facteur 3 car la MRL est obtenue à partir d'un LOAEL et un facteur 10 pour la variabilité au sein de la population humaine.
- ingestion : un facteur 10 pour la variabilité inter-espèce, un facteur 10 pour la variabilité intra-espèce et un facteur 3 pour la donnée extrapolée à partir d'un LOAEL.

Ces données sont celles que nous retiendrons car elles présentent les facteurs d'incertitude les plus faibles.
(Cf. fiche toxicologique du toluène en annexe – fiche INERIS)

D. Les Xylènes

La bibliographie ainsi que les différentes bases de données toxicologiques consultées (INERIS, US-EPA, ATSDR) définissent les xylènes comme une substance non cancérogène pour l'homme.

Il s'agit donc d'une famille de substances dite à seuil : la consultation de la base de données de l'ATSDR a pu nous donner des informations chiffrées relatives au MRL par inhalation tandis que la base de données de l'US-EPA a pu nous donner des informations récentes (2003) et chiffrées relatives au RfD par voie orale. Les chiffres annoncés sont de 0,435 mg/m³, soit 0,1 ppm par inhalation et de 0,2 mg/kg/j par ingestion.



Ces données sont établies dans le cadre d'expositions chroniques de salariés à un mélange de xylènes pour la voie d'inhalation tandis que des études sur le rat et la souris ont permis d'identifier les effets de l'ingestion de xylènes en mélanges.

Par inhalation, les résultats ont montré une diminution de la réponse des salariés exposés à une batterie de tests. Un facteur d'incertitude de 100 a été appliqué et se décompose de la façon suivante :

- un facteur 10 car obtenue à partir d'un LOAEL et un facteur 10 pour la variabilité inter-espèce.

Par ingestion, les effets se sont caractérisés par une diminution pondérale importante. Un facteur d'incertitude de 1000 a été appliqué et se décompose de la façon suivante :

- un facteur 10 pour l'extrapolation à partir de données animales, un facteur 10 pour la variabilité au sein de la population humaine et un facteur 10 pour le manque de données sur les effets toxiques des xylènes.

Ces données sont celles que nous retiendrons car elles présentent les facteurs d'incertitude les plus faibles.
Cf. fiche toxicologique du toluène en annexe – fiche INERIS)

E. Les Hydrocarbures

Comme nous l'avons vu au chapitre V paragraphe F, les hydrocarbures ne sont pas considérés comme une substance à part entière mais comme un mélange de substances ayant chacune une toxicité et une dangerosité propre. A ce titre, ils couvrent une large gamme de substances organiques. Cela est d'autant plus vrai pour les carburants de type essence qui contiennent aussi des BTEX.

Ainsi, même si les différentes fractions des hydrocarbures ont été plus ou moins étudiées par rapport à leur toxicité et dangerosité, il n'est pas possible d'extrapoler directement une valeur de risque à partir de l'addition des risques de chacune fraction d'hydrocarbures.

Ainsi, après consultation de la bibliographie disponible, nous avons pu constater qu'il n'existe pas de façon systématique de données toxicologiques par type de famille d'hydrocarbures notamment pour l'essence sans plomb.

Néanmoins, il existe une valeur de référence (RfD) disponible dans les banques de données de l'US-EPA pour un produit pétrolier de type diesel, non dégradé.

Il est de 0,008 mg/kg/jour, mais le facteur d'incertitude pour cette coupe pétrolière est important et est estimé à 10 000.

Malgré la valeur de ce facteur d'incertitude, c'est la seule valeur avérée et vérifiée dont nous disposons pour réaliser un calcul de risque. S'agissant d'une RfD, nous ne prendrons donc en compte pour les HCT que le risque par ingestion directe ou indirecte d'eau de la nappe polluée en dilution dans l'océan par les personnes se baignant en aval hydraulique du site.

	Site du Pyla Sur Mer (33) – PDV 2341	EDR	LIN 0056-04-EDR	Page 24
---	--------------------------------------	-----	-----------------	---------

VII. HYPOTHESES D'EXPOSITION – SCHEMA CONCEPTUEL

A. Schéma conceptuel

Afin de tendre vers des hypothèses d'exposition qui soient le plus proche possible de ce qui se produit dans la réalité, il est nécessaire de réaliser un schéma d'exposition dit conceptuel.

Pour cela, il convient de rappeler quelques éléments fondamentaux pour la compréhension du contexte local.

- le site n'est actuellement plus en activité. La source de pollution semble avoir disparu dans la mesure où les cuves de stockage ont été évacuées ainsi que les terres polluées. Compte tenu de la battance de la nappe, des conditions sableuses du sol et du caractère lixiviable de la pollution, la pollution s'est propagée à la nappe superficielle.
- le site étant une station-service implantée en milieu périurbain, il n'y a pas de résidents permanents sur ce dernier. Les personnes les plus exposées étaient le personnel de l'entreprise et dans une moindre mesure, les clients de la station service ainsi que ceux de la boutique.
- les BTEX étant des substances volatiles et la nappe n'étant utilisée ni pour l'AEP, ni pour l'arrosage de potagers ou des pelouses au niveau du site SHELL, la voie d'exposition préférentielle sera l'inhalation.
- la nappe est en relation étroite avec l'océan Atlantique qui se situe en aval hydraulique du site. Compte tenu de ce phénomène et de la possibilité de baignade dans les eaux de l'océan, nous devons prendre en compte le risque d'ingestion directe d'eau de mer lors de la baignade. Nous n'avons pas pris en compte la voie d'exposition par contact cutané (voir explications ci-dessous).

Compte tenu de ces éléments, il apparaît donc que les possibilités d'exposition sont multiples surtout au niveau des riverains. A ce titre, nous attacherons une attention toute particulière lors du calcul global des risques à bien prendre en compte tous les usages et voies d'exposition aux polluants.

B. Voies d'exposition

1. Exposition par absorption d'eau

La nappe impactée par la pollution aux BTEX et aux HCT est une nappe libre qui parcourt une formation interdunaire perméable. Cette nappe dite superficielle n'est donc pas protégée, ce qui la rend vulnérable aux infiltrations de polluants dans le sol. S'agissant d'une nappe libre superficielle, son alimentation s'effectue grâce à l'infiltration des eaux météoriques dans le sol. Compte tenu de la vulnérabilité de cette nappe et de la variabilité de son débit, ce réservoir n'est pas officiellement utilisé pour l'alimentation en eau potable. De plus, il convient de rappeler que les eaux de cette nappe sont saumâtres et qu'à ce titre, elles ne peuvent être utilisées pour l'arrosage des pelouses et des potagers ni comme eau domestique (douches...). Il apparaît donc que le risque sanitaire lié à l'absorption de BTEX par l'intermédiaire de l'eau de la nappe sous-jacente soit à retenir et à étudier.

2. Exposition par voie cutanée

Nous rappellerons que les BTEX et HCT identifiés comme source de pollution sur l'emprise de la station service ne sont pas en contact direct avec la partie superficielle des sols car les profondeurs relevées avec des concentrations polluantes sont à environ 3 m. Le contact direct ne peut alors pas être effectif.

	Site du Pyla Sur Mer (33) – PDV 2341	EDR	LIN 0056-04-EDR Page 25
---	--------------------------------------	-----	-------------------------

Le contact cutané peut être néanmoins constaté avec les eaux de la nappe se rejetant dans la mer. Dans ce cas, l'eau de la nappe peut entrer directement en contact avec les utilisateurs : néanmoins, la bibliographie et les études épidémiologiques consultées n'ont pas permis de mettre en évidence que les BTEX et HCT pouvaient avoir un effet quelconque et significatif sur la santé des populations par simple contact cutané.

Compte tenu de ces éléments, le risque d'exposition par voie cutanée ne sera pas retenu.

3. Exposition par inhalation

Nous avons vu également que les BTEX étaient en partie localisés au niveau superficiel de la nappe à une profondeur de l'ordre de 4 m par rapport au niveau moyen du sol du site et de celui des riverains. Ces substances étant plutôt volatiles, elles ont tendance à se disperser sous forme gazeuse et à atteindre la surface du sol: cette remontée est d'autant plus facile que les terrains sont assez perméables.

Le site n'étant plus en activité, les émanations chargées en BTEX ne peuvent être respirées que par le personnel pouvant être amené à travailler sur le site pour des périodes assez courtes. Il convient de noter qu'en général, les émanations reçues à l'air libre sont fortement diluées par l'air ambiant : à contrario, dans certains cas, les émanations peuvent se concentrer dans un bâtiment qui serait doté d'une dalle béton peu étanche ou d'un sous-sol de même acabit et avec une ventilation faible ne générant pas un renouvellement d'air ambiant important (confinement du milieu impacté).

Compte tenu des ces éléments et dans l'optique d'un réaménagement du site en usage résidentiel, nous avons retenu comme scénario l'exposition par inhalation, et ce pour les personnes travaillant sur le site à l'extérieur des bâtiments commerciaux. Nous avons aussi pris en compte le risque d'inhalation à l'extérieur du site au niveau de la zone pavillonnaire.

4. Exposition par ingestion

Au niveau même du site de la station service, les éléments polluants sont retrouvés dans la nappe superficielle ainsi que dans les sols dans une moindre mesure. Matériellement et physiquement, il est impossible aux personnes sur site de rentrer en contact avec les sols pollués (de part leur profondeur) ou la nappe dans la mesure où l'eau de la nappe n'est pas utilisée sur le site pour l'alimentation en eau potable, pour l'irrigation agricole ni pour l'arrosage des potagers ou des voitures et que les sols sont pour la plupart imperméabilisés ou recouverts d'une couche d'asphalte. De ce fait, le scénario d'exposition aux polluants par voie d'ingestion ne sera pas étudié au niveau du site proprement dit.

Il n'en est pas de même au niveau de l'océan dans la mesure où la nappe est en relation avec celui-ci. Dès lors, il peut y avoir contact avec l'eau polluée lors de la baignade et ainsi ingestion.

Compte tenu de ces éléments, nous estimons que le risque d'exposition par voie orale (ingestion d'eau contaminée) est bien réel et sera pris en compte dans le calcul des risques sanitaires.



VIII. CALCULS ET EVALUATION DES RISQUES

Dans cet esprit, nous rappellerons que les analyses prises en compte dans les calculs de risque sont les concentrations maxima relevées au niveau des puits de pompage et des sols lors des dernières campagnes de prélèvement.

A. Présentation du modèle informatique

Le logiciel informatique utilisé pour calculer les doses journalières d'exposition et choisi par nos soins est le logiciel RBCA TOOL KIT – Version 1.3a développé par la société Groundwater Services Inc. Il permet de calculer les niveaux de risque pour la santé liés à une pollution des sols et/ou d'une nappe souterraine et de dériver des valeurs de dépollution basées sur un niveau de risque prédéfini.

C'est un logiciel simple d'utilisation dont l'ensemble des paramètres peut être modifié par l'utilisateur en fonction des données d'un site donné, ce qui confère à ce logiciel une certaine adaptabilité aux cas à traiter.

Néanmoins, ce logiciel se présentant sous la forme d'un classeur Excel possède des formules entrées dont certaines feuilles sont masquées. Ceci peut constituer une limite à l'utilisation du logiciel et à l'interprétation des résultats.

Le logiciel définit l'exposition sur le site et à l'extérieur de ce dernier. 2 milieux peuvent être pris en compte comme source de pollution : le sol et l'eau souterraine. A partir de ces milieux, la pollution peut migrer vers les milieux d'exposition suivants :

- le sol,
- l'air extérieur et intérieur,
- les eaux superficielles (rivières),
- les eaux souterraines.

Pour chacun de ces milieux, différentes possibilités de modélisation sont offertes par le logiciel. Les voies d'exposition pouvant être prises en compte sont :

- l'ingestion d'eau de nappe, et d'eau superficielle,
- l'ingestion de sol,
- l'inhalation de gaz à l'extérieur de bâtiments,
- l'inhalation de gaz à l'intérieur de bâtiments,
- l'inhalation de poussières à l'extérieur des bâtiments,
- le contact cutané avec le sol superficiel et les eaux de baignade.

Par défaut, les paramètres d'exposition sont définis pour une cible humaine dans le cadre d'un scénario résidentiel, d'un scénario commercial et/ou d'un scénario correspondant à un chantier de construction. La cible prédéfinie est un adulte mais le modèle peut moyenniser l'exposition adulte avec celle d'un enfant dans le cas d'un scénario résidentiel.

Ce logiciel est assez souple et a déjà en mémoire de nombreux paramètres d'entrée tels que, pour chaque substance, la masse molaire, les coefficients de diffusion dans l'air et dans l'eau, la constante de Henry, la pression de vapeur, la solubilité, la constante d'acidité, la constante basique, le coefficient d'absorption cutanée à partir du sol et de l'eau...

Les données toxicologiques utilisées sont issues de documents normatifs ou de guides nationaux ou régionaux de l'USEPA. L'origine des valeurs toxicologiques utilisées n'apparaît pas directement. Il est parfois difficile de retrouver l'origine des valeurs et donc d'être capable de juger de leur pertinence.



Ni les données de l'ATSDR ni de l'INERIS ne semblent utilisées dans ce logiciel. Néanmoins, comme ce logiciel comporte un fichier des valeurs toxicologiques, l'utilisateur peut vérifier qu'elles sont exhaustives et ne sont pas obsolètes. De plus, il est possible de modifier ces valeurs pour intégrer de nouvelles données plus actualisées.

La modélisation des transferts de polluants est réalisée à partir de relations analytiques simples. Le logiciel présente l'intérêt d'offrir à l'utilisateur la possibilité d'utiliser tout autre modèle pour définir le transfert d'un polluant d'un milieu à un autre et de pouvoir réintégrer ce résultat dans ce logiciel pour aboutir au calcul des expositions et du risque.

En revanche, les feuilles où sont réalisées les calculs étant masquées et protégées, il n'est pas possible de modifier les équations ou de procéder directement à des adaptations au sein du logiciel. Cette absence de lisibilité constitue également une limite pour la vérification des calculs.

Les principales limites du logiciel concernent :

- l'exposition moyennée des enfants par rapport à celle des adultes : ce principe peut aboutir à des minorations de risques pour l'enfant qui est la cible la plus sensible. On peut néanmoins corriger ce facteur en apportant un facteur correctif 5 ou 10 pour être plus représentatif de ce constat.
- les paramètres physico-chimiques : la pression de vapeur est souvent trop importante ce qui peut majorer le risque tandis que les taux d'absorption à partir du sol ne sont pas spécifiques à chaque substance. Les taux correspondent à des taux moyens.
- les valeurs toxicologiques : elles ne sont issues que de l'US-EPA. Néanmoins, il est possible de les modifier en fonction de bibliographies et de résultats plus récents.
- les estimations des concentrations de polluants dans les milieux et notamment l'air : le logiciel possède des données préintégrées en fonction du type de sol rencontré et que l'utilisateur peut modifier par rapport aux données spécifiques d'un site étudié. Il s'agit de valeurs moyennées qui néanmoins dans notre cas semblent assez bien adaptées dans la mesure où nous avons à faire à une pollution ayant atteint la nappe après avoir traversé des formations alluvionnaires anciennes assez hétérogènes et qu'il convient de moyenner pour obtenir un résultat moyen extrapolable sur le site. Nous avons choisi un sol de type sables et graviers.
- autre limite : ce modèle informatique ne traite pas des problèmes d'absorption indirecte par ingestion d'aliments arrosés avec de l'eau potentiellement contaminée.

Pour ces problématiques d'exposition par inhalation et d'ingestion de BTEX et de HCT en provenance de la nappe contaminée, nous avons pris les éléments suivants :

- résident éventuel futur du site de 70 kg en moyenne vivant sur site 70 ans avec un volume moyen de respiration de 20 m³/jour.
- baigneur enfant d'un poids moyen de 30 kg se baignant environ 4 h par jour pendant 3 mois de l'année pendant 15 ans avec un volume d'eau ingéré de 0,5 l par session de baignade.



B. Calcul des niveaux de risque

Pour une meilleure compréhension de cette étude par le lecteur, nous fournissons en annexe les pages de calculs ainsi que les données de base qui ont concourues à la réalisation des calculs.

1. Calcul pour l'exposition par inhalation

Les données ainsi relevées nous donnent les résultats suivants :

Tableau 1 : Données pour le scénario d'exposition sur et hors du site à l'extérieur de bâtiments

Caractéristiques des substances		Benzène	Ethylbenzène	Toluène	Xylènes
Concentrations retenues (en µg/l)		47,5	231	798	1229
Milieu pris en compte		EAU SOUTERRAINE			
DJE (en mg/m³)	Cancérogène	$1,7 \cdot 10^{-6}$	--	-	-
	Non cancérogène	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$7,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$

Il est à noter que compte tenu de la faible distance des premiers voisins, le logiciel considère qu'il n'y a quasiment pas de baisse de concentration en élément polluant du site étudié par rapport au voisinage (estimé à 50 m).

Tableau 2 : Données pour le scénario d'exposition sur et hors du le site à l'intérieur de bâtiments

Caractéristiques des substances		Benzène	Ethylbenzène	Toluène	Xylènes
Concentrations retenues (en µg/l)		47,5	231	798	1229
Milieu pris en compte		EAU SOUTERRAINE			
DJE (en mg/m³)	Cancérogène	$1,7 \cdot 10^{-4}$	--	-	-
	Non cancérogène	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$7,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$

Les concentrations sont obtenues à partir des prélèvements d'eaux in-situ pour analyses tandis que les DJE sont obtenues par calcul informatique du logiciel RBCA TOOL KIT.

Compte tenu de ces résultats, nous obtenons ainsi les Indices de Risque (IR) et les Excès de Risque Individuel (ERI) selon les formules suivantes :

- $ERI = DJE \times ERUi \times 1000$ pour les substances sans seuil (cancérigènes) et par inhalation
- $IR = \frac{DJE}{DJT}$ pour les substances à seuil

Dans le cas spécifique de l'inhalation de BTEX à partir de la nappe et ce tant sur le site (à l'intérieur et à l'extérieur de bâtiments), nous obtenons les résultats suivants :

Composé étudié	Pollution dans la nappe (en µg/l)	DJT* en mg/ m ³	ERUi en (µg/m ³) ⁻¹	IR Indice de risque		ERI (Excès de Risque Individuel)	
				Sur ou hors site, à l'extérieur	Sur ou hors site, à l'intérieur	Sur ou hors site, à l'extérieur	Sur ou hors site, à l'intérieur
Benzène	47,5	6.10 ⁻³	6 10 ⁻⁶	6,7 10 ⁻⁴	6,5 10 ⁻²	1,4 10 ⁻⁸	1,4 10 ⁻⁶
Ethylbenzène	231	4,4	-	2,1 10 ⁻⁵	2,1 10 ⁻³	-	-
Toluène	798	3,8	-	1,8 10 ⁻⁴	1,7 10 ⁻²	-	-
Xylènes	1229	4,4 10 ⁻¹	-	1,4 10 ⁻⁵	1,4 10 ⁻³	-	-
Somme				8,9 10 ⁻⁴	8,6 10 ⁻²	1,4 10 ⁻⁸	1,4 10 ⁻⁶

* DJT (Dose Journalière Toxique) = MRL (Minimal Risk Level)

Les données d'analyses prises en compte datent de Juillet 2004. Depuis, d'autres analyses ont été effectuées et ont montré que les teneurs en BTEX et en HCT évoluaient peu.

Devant ce constat, nous avons étudié les concentrations à partir desquelles le risque sanitaire serait inacceptable : ce nouveau calcul nous permettra alors de vérifier si l'évolution des teneurs en BTEX (actuellement stagnante) est cohérente avec un arrêt de l'installation de dépollution.

Pour ce faire, nous avons utilisé le modèle informatique par itération et pris en compte les éléments qui impactaient le plus le scoring, à savoir le Benzène (seul élément cancérigène pouvant générer un ERI) et le Toluène.

Il convient de rappeler que dans ce cas, nous avons pris l'hypothèse d'une exposition aux émanations de BTEX sur le site à l'intérieur d'un bâtiment à usage résidentiel car c'est l'hypothèse la plus majorante que nous avons pu relever.

Les concentrations limite obtenues sont donc les suivantes :

- Benzène : 350 µg/l ERI = 1 10⁻⁵ et un IR de 4,5 10⁻¹
- Toluène : 25 000 µg/l IR = 5,5 10⁻¹
- Les concentrations des autres éléments restants inchangées, nous obtenons un IR général de 1.

Aux vues de ces résultats, nous pouvons nous apercevoir que le seuil de concentration générant un risque inacceptable est très supérieur aux concentrations en BTEX actuellement rencontrées dans la nappe au droit du site.

Nous n'avons pas utilisé cette méthode pour rechercher les concentrations limite par ingestion car les niveaux de risque initiaux à partir des mêmes valeurs étaient plus faibles.



2. Calcul pour l'exposition par ingestion.

Pour le calcul des risques par ingestion d'eau, nous n'utiliserons pas le modèle créé par le logiciel RBCA TOOL KIT pour tous les scénarios possibles car il ne modélise pas certains transferts comme le passage du polluant d'une nappe à un plan d'eau ou à la mer. Nous utiliserons les formules données par l'ATSDR (Institut canadien équivalent de l'Institut de veille sanitaire français) validée par l'INERIS et le BRGM au travers du guide de gestion des sites pollués.

Une équation permet de définir la dose journalière d'exposition (DJE) ; l'équation est la suivante :

$$DJE = (C \times Ti \times FE) / PC$$

Avec : DJE = Dose d'Exposition (en mg/kg/j)

C = Concentration du contaminant dans l'eau

Ti = Taux d'Ingestion (eau absorbée par jour) = 0,5 l/j

FE = Facteur d'Exposition (voir équation ci-dessous) : il représente la fréquence d'exposition du sujet

PC = Poids Corporel du sujet = 30 kg

$$FE = (15 \text{ ans} \times 14 \text{ semaines/an} \times 7 \text{ jours/semaine}) / (70 \text{ ans/vie complète} \times 365 \text{ j/an}) = 0,0575$$

Pour les concentrations, nous nous sommes basés sur la dernière campagne de prélèvement d'eau de nappe réalisée en Juin 2004 en estimant un taux de dilution de 1/10 dans l'océan. Cette concentration peut sembler contraignante, mais en l'absence de réelles données de terrain et eu égard à la proximité de l'océan, nous appliquerons le principe de précaution. Nous avons donc pris comme hypothèse majorante un enfant de 30 kg en moyenne se baignant pendant 3 mois de l'année et ce pendant 15 ans de sa vie.

Lors de la baignade, les bases de données consultées nous donnent un volume d'eau absorbé pendant 4 heures de 0,5 l.

Dès lors, nous avons pu calculer la dose journalière potentiellement de polluants ingérée par baignade tant pour les BTEX que pour les HCT.



Sur la base de ces concentrations, les résultats sont les suivants :

Eléments analysés	Concentration initiale	Concentration dans l'océan	DJE calculée (en mg/kg/jour)
Benzène	0,0475 mg/l	0,00475 mg/l	$4,55 \cdot 10^{-6}$
Ethylbenzène	0,231 mg/l	0,0231 mg/l	$2,2 \cdot 10^{-5}$
Toluène	0,798 mg/l	0,0798 mg/l	$7,6 \cdot 10^{-5}$
Xylènes	1,229 mg/l	0,1229 mg/l	$1,18 \cdot 10^{-4}$
HCT	4,9 mg/l	0,49 mg/l	$4,69 \cdot 10^{-4}$

Après avoir calculé la DJE par ingestion pour chaque élément polluant, nous pouvons en déduire les indices de risques de chacun d'entre eux selon les équations décrites au chapitre V.

- **Le Benzène :**

Dans la mesure où cet élément présente une toxicité cancérogène ainsi qu'une toxicité à effet de seuil, nous allons calculer un Excès de Risque Unitaire (ERU) et un Indice de Risque (IR), soit :

$$\text{ERU}_0 = \text{DJE} \times \text{ERU}_0 = 4,55 \cdot 10^{-6} \times 1,5 \cdot 10^{-2} = 6,825 \cdot 10^{-8} < 10^{-5}$$

$$\text{IR} = \text{DJE} / \text{DJT} = 4,55 \cdot 10^{-6} / 4 \cdot 10^{-3} = 1,137 \cdot 10^{-3} < 1$$

- **L'Ethylbenzène :**

Il s'agit d'une substance dite à seuil et de ce fait, nous ne calculerons qu'un Indice de Risque (IR), soit :

$$\text{IR} = \text{DJE} / \text{DJT} = 2,2 \cdot 10^{-5} / 10^{-1} = 2,2 \cdot 10^{-4} < 1$$

- **Le Toluène :**

Il s'agit d'une substance dite à seuil et de ce fait, nous ne calculerons qu'un Indice de Risque (IR), soit :

$$\text{IR} = \text{DJE} / \text{DJT} = 7,6 \cdot 10^{-5} / 2 \cdot 10^{-2} = 3,8 \cdot 10^{-3} < 1$$

- **Les Xylènes :**

Il s'agit de substances dites à seuil et de ce fait, nous ne calculerons qu'un Indice de Risque (IR), soit :

$$\text{IR} = \text{DJE} / \text{DJT} = 1,18 \cdot 10^{-4} / 2 \cdot 10^{-1} = 5,9 \cdot 10^{-4} < 1$$

- **Les HCT (Hydrocarbures Totaux) :**

Il s'agit de substances dites à seuil et de ce fait, nous ne calculerons qu'un Indice de Risque (IR), soit :

$$\text{IR} = \text{DJE} / \text{DJT} = 4,69 \cdot 10^{-4} / 8 \cdot 10^{-3} = 5,8 \cdot 10^{-2} < 1$$

La somme des Indices de Risque par ingestion est donc de $6,37 \cdot 10^{-2} < 1$



Conclusions vis-à-vis des risques par ingestion via la baignade

Aux vues des résultats issus en partie de la modélisation par le logiciel cité précédemment, nous pouvons nous apercevoir qu'aucun des risques calculés ne peut être considéré comme inacceptable, et ce bien que des valeurs contraignantes aient été retenues comme hypothèse de travail.

En effet, quelle que soit la substance étudiée, par ingestion directe de BTEX et de HCT des baigneurs, aucun IR (Indice de Risque pour les substances non cancérogènes), ni ERI (Excès de Risque Individuel pour les substances cancérogènes) ne dépasse les valeurs préconisées par le Ministère de l'Environnement.

Il convient de rappeler que les valeurs retenues étaient celles de la dernière campagne de prélèvement réalisée par LISEC France en juin 2004, valeurs qui ont montré un abattement très notable des concentrations polluantes par rapport à la situation initiale. Ce constat démontre l'efficacité du système de traitement de la nappe qui avait été dimensionné et mis en place par cette même société.

En conclusion générale, nous pouvons dire que d'un point de vue sanitaire tel que recommandé par le ministère de l'Environnement, le présent dossier démontre que les teneurs résiduelles en BTEX et HCT dans la nappe ne sont pas à même de générer un risque pour la santé des populations cibles et ce par rapport aux voies d'exposition étudiées (ingestion et inhalation).

*Nous restons à votre disposition pour de plus amples renseignements.
Veuillez agréer, Madame, Monsieur, l'expression de nos salutations distinguées.*

Stéphane JACOB
Ingénieur chargé d'affaires

	Site du Pyla Sur Mer (33) – PDV 2341	EDR	LIN 0056-04-EDR	Page 34
---	--------------------------------------	-----	-----------------	---------

Observations sur l'utilisation du présent rapport

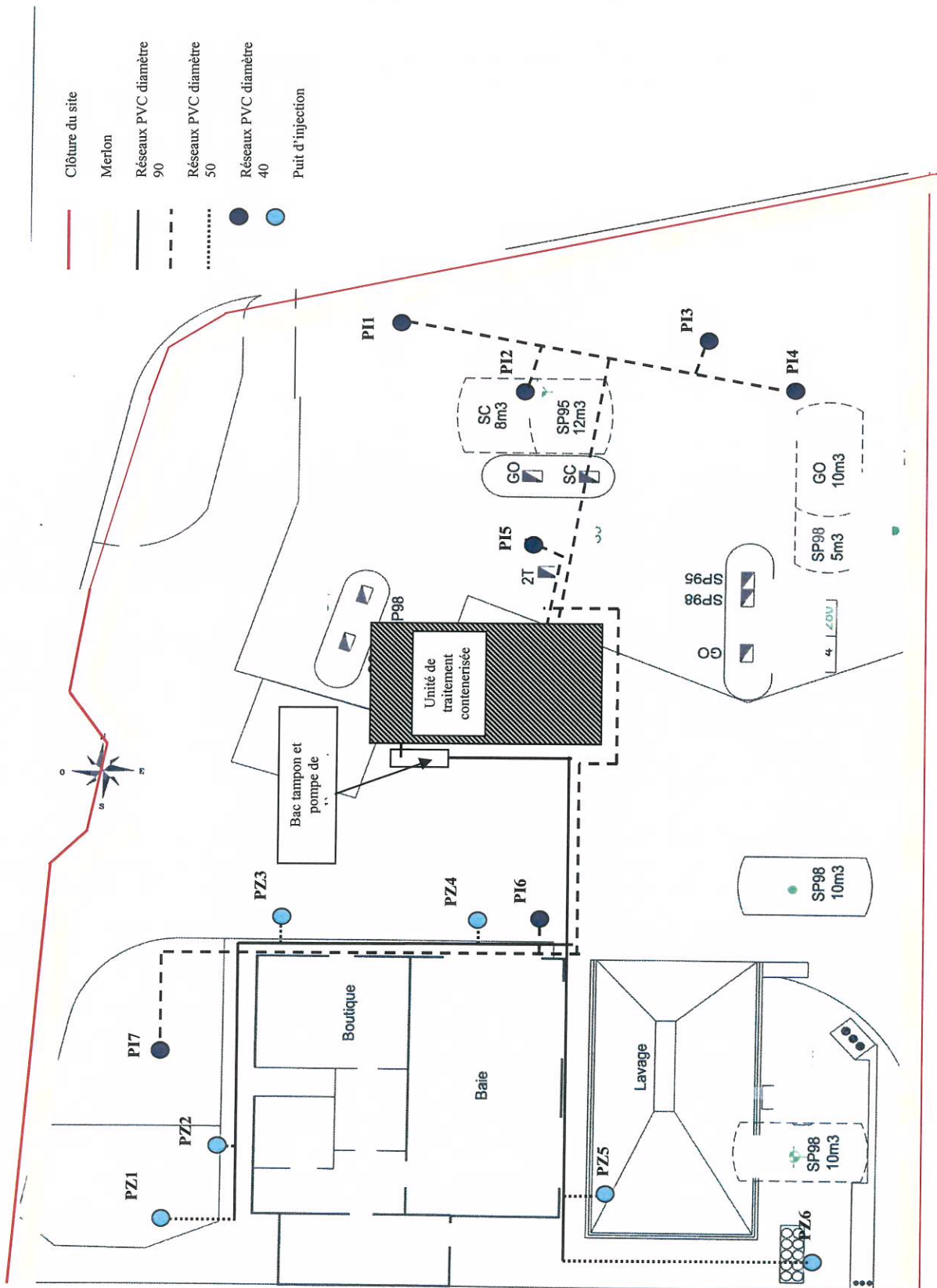
Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des limites, indications et énonciations de LISEC France ne saurait engager la responsabilité de celle-ci.

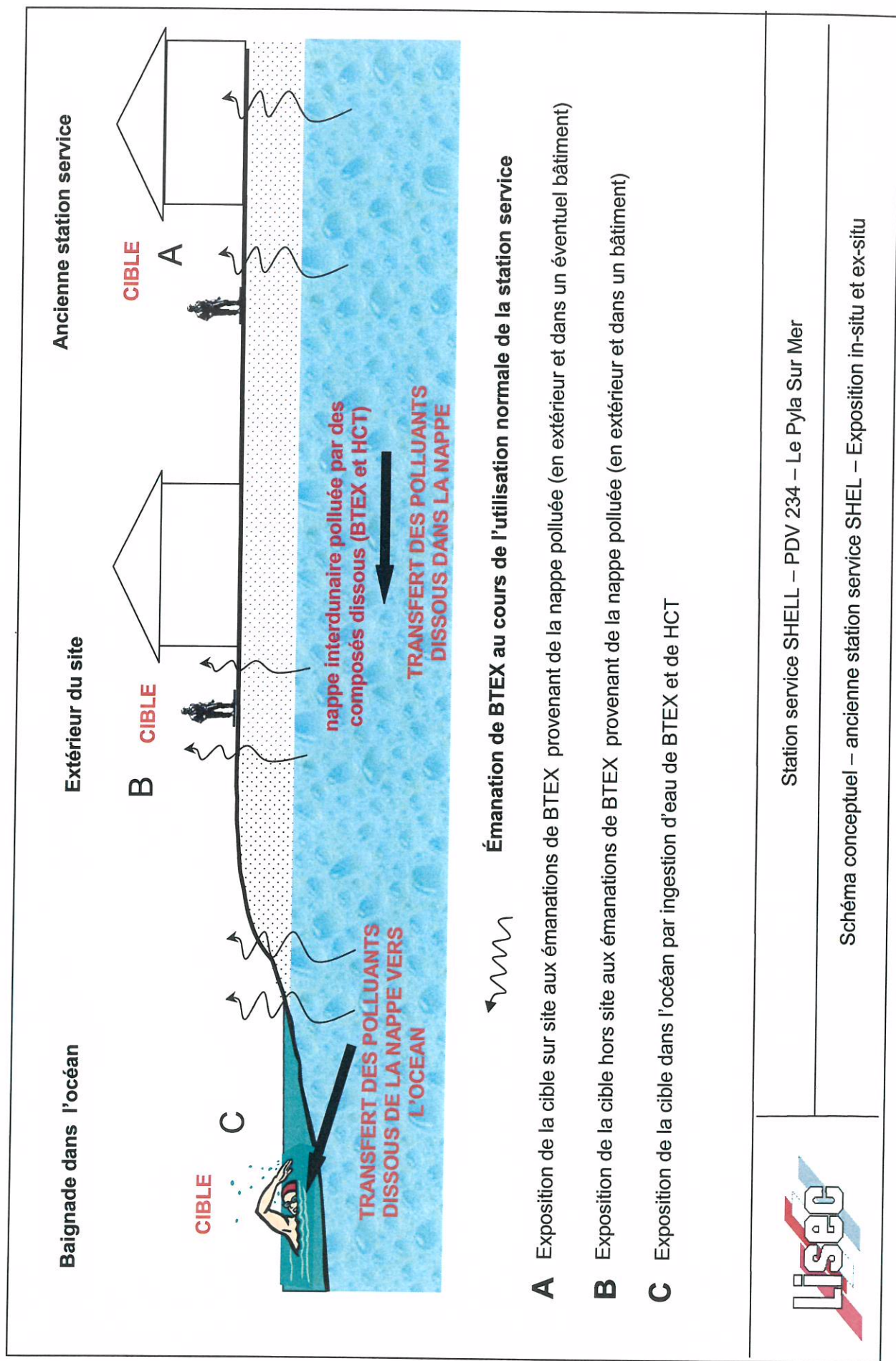
	Site du Pyla Sur Mer (33) – PDV 2341	EDR	LIN 0056-04-EDR	Page 35
---	--------------------------------------	-----	-----------------	---------

Plan de localisation du site



Plan n° 2 : localisation des différents ouvrages liés au système de dépollution





Glossaire

- C -

CANCÉROGÈNE : Se dit de tout facteur, chimique, physique ou biologique, susceptible de provoquer ou de favoriser l'apparition d'un cancer.

CONCENTRATION DE REFERENCE : voir la définition de RfC

- D -

DOSE ABSORBÉE (dose interne) : Quantité de substance ayant pénétré les barrières de l'organisme suite à un contact. La dose absorbée correspond à la dose interne.

DOSE ADMINISTRÉE (dose externe) : Quantité de substance mise en contact avec les barrières de l'organisme (parois intestinales, alvéoles pulmonaires, peau).

DOSE DE REFERENCE : voir définition de RfC

DOSE JOURNALIÈRE ADMISSIBLE (DJA) : Dose d'exposition sans risque appréciable pour la santé de l'homme ou pour l'animal. Valeurs établies pour les additifs alimentaires et les résidus de pesticides dont la présence dans les aliments répond à des besoins techniques ou qui sont nécessaires pour la protection des plantes (OMS).

DOSE JOURNALIÈRE D'EXPOSITION (DJE) : Dose (interne ou externe) de substance reçue par l'organisme rapportée au poids de l'individu et au nombre de jours d'exposition (dans le cas d'une substance non cancérogène) et au nombre de jours de la vie entière (dans le cas d'une substance cancérogène).

DOSE JOURNALIÈRE TOLÉRABLE (DJT) : Dose d'exposition sans risque appréciable pour la santé de l'homme. Expression préférable du point de vue de l'OMS, car s'agissant d'une dose permise plutôt qu'acceptable.

DOSE LÉTALE (DL_n) (DL 0) (DL 50) : Dose d'un produit toxique qui entraîne la mort d'un pourcentage *n* dans une population donnée, pendant un temps donné, dans une expérience donnée.

* DL 0 : Dose maximale testée ne provoquant aucune mortalité dans la population d'organismes étudiée, pendant un temps donné, par administration unique.

* DL 50 : Dose provoquant 50% de mortalité dans la population d'organismes étudiée, pendant un temps donné, par administration unique.

DOSE TOLÉRABLE : estimation de la dose qui peut être absorbée pendant toute la vie sans risque appréciable pour la santé. Elle peut avoir différentes valeurs selon la voie d'administration. Elle s'exprime en masse de substance absorbée par masse de poids corporel.

- K -

Koc (Coefficient de partage avec le carbone organique) : Rapport entre la quantité adsorbée d'un composé par unité de poids de carbone organique du sol ou du sédiment et la concentration en ce même composé en solution aqueuse à l'équilibre. La tendance d'un composé à s'adsorber sur un sol dépend de ses propriétés physico-chimiques et de la teneur en carbone organique du sol ou du sédiment. Koc peut être utilisé pour déterminer la répartition d'un composé entre l'eau et le solide.

Kow (Coefficient de partage Octanol / Eau (Water)) : Rapport entre la concentration à l'équilibre d'une substance chimique dans l'octanol et la concentration en cette même substance dans l'eau. Il est utilisé pour estimer, de façon indirecte, la sorption d'une substance organique dans un sol ou le facteur de bioconcentration.

Kp (ou Kd) (Coefficient de partage eau / solide) : rapport entre la concentration en élément adsorbé et la concentration à l'état dissous à l'équilibre. Il est généralement utilisé pour quantifier la sorption sur les sols, les sédiments ou les particules en suspension. L'intensité de cette sorption dépend des propriétés de l'élément étudié et de celles du sol.

- L -

LOAEL (Lowest Observed Adverse Effect Level) : Niveau (dose) d'exposition le plus bas, dans une expérience, produisant un effet néfaste observé.

LOEC (Lowest Observed Effect Concentration) : Plus petite concentration, dans une expérience, induisant un effet observé.

- M -

MUTAGÈNE : Se dit de tout facteur, physique, chimique, susceptible de provoquer des modifications de la structure de l'ADN chez les organismes vivants.

MRL (Minimal Risk Level) : une estimation de l'exposition humaine journalière à une substance chimique qui est probablement sans risque appréciable d'effets néfastes non cancérigène sur la santé pour une durée spécifique d'exposition.

- N -

NOAEL (No Observed Adverse Effect Level) : Niveau (dose) d'exposition le plus élevé, dans une expérience, n'ayant pas entraîné d'effet nocif observable.

NOEC (No Observed Effect Concentration) : Concentration, dans une expérience, ne produisant pas d'effet observable.

- R -

RfC (Inhalation reference concentration ou concentration de référence): estimation de l'exposition par l'inhalation continue d'une population humaine (y compris les sous-groupes sensibles) sans risque appréciable d'effets néfastes durant une vie entière. Elle s'exprime en masse de substance par m³ d'air inhalée.

RfD (oral référence dose ou dose de référence) : estimation de l'exposition journalière d'une population humaine (y compris les sous-groupes sensibles) qui, vraisemblablement, ne présente pas de risque appréciable d'effets néfastes durant une vie entière. Elle s'exprime en masse de substance par kg de poids corporel.

- S -

SLOPE FACTOR : l'EPA définit sous IRIS le "slope factor" comme la pente de la relation dose-réponse dans la zone des basses doses. La limite supérieure de l'intervalle de confiance à 95% de la pente est utilisée, plutôt que la pente elle-même, car c'est un nombre statistique plus stable. Le slope factor s'exprime généralement en $(\text{mg/kg/j})^{-1}$

SYSTEMIQUE : Se dit d'un agent polluant dont la toxicité se manifeste par une atteinte non cancéreuse d'un tissu ou d'une fonction.

- T -

TÉRATOGENE : Se dit d'un agent susceptible de produire des malformations au cours du développement embryonnaire.

TOXICITÉ : Résultat de l'action plus ou moins néfaste pour un organisme vivant que peuvent exercer des substances chimiques entrant en contact avec celui-ci.

On dit qu'une substance est toxique lorsque, après pénétration dans l'organisme, par quelque voie que ce soit - à une dose appropriée, en une fois ou en plusieurs fois très rapprochées, ou par petites doses longtemps répétées - elle provoque, dans l'immédiat ou après une phase de latence plus ou moins prolongée, de façon passagère ou durable, des troubles d'une ou plusieurs fonctions de l'organisme pouvant aller jusqu'à leur suppression complète et entraîner la mort : on parle alors de toxicité létale.

On distingue la toxicité aiguë (causant la mort ou des désordres physiologiques importants immédiatement ou peu de temps après l'exposition), subaiguë (effets dus à des doses plus faibles, se produisant à court terme, sur des organes cibles, parfois réversibles), ou chroniques (causant des effets irréversibles à long terme par une absorption continue de petites doses de polluants ou des effets cumulatifs).

TOXICOLOGIE : Science ayant pour objet l'identification et l'étude des substances susceptibles de nuire aux organismes vivants.

- V -

VALEUR DE CONSTAT D'IMPACT (VCI) : Valeur guide française générique, utilisée dans le cadre de la méthode nationale d'évaluation simplifiée des risques, permettant de constater l'impact de la pollution d'un milieu, en fonction de son usage. Dans le cas des sols, elles sont développées par le groupe de travail "santé et environnement", sur une base méthodologique d'évaluation des risques pour la santé humaine (études génériques). Ces valeurs prennent en compte les risques chroniques pour la santé des populations liés à l'usage actuel des sites. Elles intègrent les différentes voies d'exposition des populations (inhalation, ingestion, contact cutané) et sont définies pour deux types d'usage, l'un sensible (résidentiel avec potager), l'autre industriel.

VALEUR DE DEFINITION DE SOURCE SOL (VDSS) : Valeur guide française, spécifique d'une substance, devant servir à identifier une source de pollution constituée de sols, et à délimiter sa surface. Ces valeurs sont valables pour la source quels que soient les milieux de transfert et d'exposition retenus dans le schéma conceptuel du site / de la source. Valeur à utiliser dans le cadre de la mise en oeuvre de la méthode nationale d'évaluation simplifiée des risques.

VALEUR TOXICOLOGIQUE DE REFERENCE (VTR) : Valeur de référence pour chaque élément polluant choisi au-delà de laquelle les effets toxiques sont ressentis par l'homme (substance avec ou sans effet de seuil). Cette valeur est comparée à la DJE (voir explication dans le présent glossaire) pour définir soit l'Indice de Risque (IR), soit l'Excès de Risque Individuel (ERI).

VECTEUR (DE POLLUTION) : Milieu, organisme, support physique minérale ou organique, liquide ou solide ou gazeux, susceptible de transmettre un élément polluant ou infectieux vers une cible à partir d'une source de pollution, par des processus de transport identifiés.

Signification des sigles utilisés

ATSDR : Agency for Toxic Substances and Diseases Registry	IRIS : Integrated Risk Information System, banque de données factuelle produite par l'US EPA
BNSS : Banque Nationale du Sous Sol (gérée par le BRGM)	LOAEL : Lowest Observed Adverse Effect
BRGM : Bureau des Recherches Géologiques et Minières	LOEL : Lowest Observed Adverse Level
BTEX : Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylène	MRL : Minimal Risk Level
CI : concentration inhalée	NOAEL : No Observed Adverse Effect Level
CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer	NOEL : No Observed Effect Level
CT : concentration tolérable	RBCA Tool Kit : Risk-based corrective action (developed by ASTM – American Society for Testing and Materials)
DDASS : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales	RfC : inhalation Reference concentration
DJA : Dose Journalière Admissible	RfD : oral Reference DoseU
DJE : Dose Journalière d'Exposition	US EPA : United States Environmental Protection Agency ³
DJT : Dose Journalière Tolérable	UR : air Unit Risk
DL : Dose Létale	VCI : Valeur de Constat d'Impact
EDR : Evaluation Détaillée des Risques	VDSS : Valeur de Définition Source Sol
ERI : Excès de Risque Individuel	VTR : Valeur Toxicologique de Référence
ERU : Excès de Risque Unitaire	
ERUi : Excès de Risque Unitaire par inhalation	
ERUo : Excès de Risque Unitaire par voie orale	
HCT : hydrocarbures Totaux	
IARC : International Agency for Research on Cancer	
IGN : Institut Géographique National	
INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques	
IR : Indice de Risque	

IX. CONCLUSIONS

Les calculs basés sur les données bibliographiques disponibles et les plus fiables possibles (nous avons choisi les valeurs toxicologiques de référence en fonction des facteurs d'incertitude minimum) ainsi que sur les nombreuses données analytiques de terrain couvrant l'ensemble du site nous ont permis de définir les niveaux de risque encourus par les différentes populations susceptibles d'occuper le site.

Ce choix nous a permis de diminuer au maximum le facteur d'incertitude spécifique au choix des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) et ainsi de présenter des résultats les plus représentatifs possibles.

Rappel : le principe de précaution

Il convient de rappeler que pour l'ensemble des calculs spécifiques au risque d'inhalation, nous avons choisi de prendre comme concentration de référence les concentrations en BTEX et en HCT rencontrées dans la nappe lors de la dernière campagne de prélèvement d'eaux souterraines et ce au droit du site.

Pour les calculs spécifiques au niveau du voisinage, nous avons pris comme valeur de référence les valeurs maximales rencontrées lors de la campagne de prélèvement effectuée par LISEC France en Juin 2004 puis modélisées par le logiciel RBCA TOOL KIT en étant le plus contraignant possible. Nous avons donc respecté le principe de précaution en estimant les risques d'un particulier par rapport à une exposition maximale non rencontrée dans les faits actuels.

Nous rappellerons enfin que pour être acceptable :

- L'Indice de Risque doit être inférieur à 1 dans le cas des substances dites à seuil,
- L'Excès de Risque Individuel doit être inférieur à 10^{-6} dans le cas des substances dites sans seuil (cancérigène) et de 10^{-5} en sommant les excès de risque.

Conclusions vis-à-vis des risques par inhalation sur le site SHELL et au voisinage

Avant de commenter et de conclure sur les niveaux de risque au niveau du site SHELL et au voisinage, il convient de rappeler que compte tenu des caractéristiques de la pollution et de ses possibilités de transfert, seule la voie d'exposition par l'inhalation d'émanations en BTEX au travers des sols en provenance de la nappe a été retenue. Nous avons démontré que les autres voies d'exposition aux polluants n'étaient pas concernées.

Concernant les HCT, ce type d'exposition n'a pas été suffisamment étudié pour pouvoir être pris en compte : en effet, les données bibliographiques consultées n'aboutissent pas à des conclusions chiffrées étayées et assez recoupées pour être crédibles dans une étude de type EDR.

Aux vues des résultats obtenus par modélisation informatique à l'aide du logiciel RBCA TOOL KIT et ce seulement au niveau du site, nous observons que l'ensemble des résultats est inférieur aux seuils fixés et énoncés ci-avant.

Ainsi, il apparaît que les teneurs résiduelles en BTEX actuellement présentes dans la nappe au droit du site ne sont pas susceptibles de générer des effets néfastes et inacceptables sur la santé des populations sur le site, ni à l'extérieur que ce soit dans ou hors d'un éventuel bâtiment.

La recherche des concentrations limite de risque acceptable nous montre que l'évolution actuelle des concentrations en BTEX dans la nappe serait compatible avec un arrêt de l'installation de dépollution car les seuils inacceptables semblent peu atteignables en l'état.

	Site du Pyla Sur Mer (33) – PDV 2341	EDR	LIN 0056-04-EDR	Page 33
---	--------------------------------------	-----	-----------------	---------